



TUGAS AKHIR - TF 141581

IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK *RISK ASSESSMENT* PADA *STEAM DRUM BOILER* DI PABRIK I PT. PETROKIMIA GRESIK

**ADHI THYA GUNAWAN
NRP 0231 1340000 015**

**Dosen Pembimbing
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



FINAL PROJECT - TF 141581

IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK *RISK ASSESSMENT* PADA *STEAM DRUM BOILER* DI PABRIK I PT. PETROKIMIA GRESIK

ADHI THYA GUNAWAN
NRP 0231 1340000 015

Supervisor
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adhi Thya Gunawan

NRP : 0231 1340000 015

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **"IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK *RISK ASSESSMENT* PADA *STEAM DRUM BOILER* DI PABRIK I PT. PETROKIMIA GRESIK"** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 22 Januari 2018
Yang membuat pernyataan,



Adhi Thya Gunawan
NRP. 0231 1340000 015

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK *RISK ASSESSMENT* PADA *STEAM DRUM BOILER* DI PABRIK I PT. PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR

Oleh:

Adhi Thya Gunawan
NRP 0231 1340000 015

Surabaya, Januari 2018

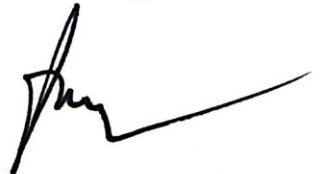
Mengetahui

Pembimbing I



Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.
NIPN. 19571126 198403 2 002

Pembimbing II



Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.
NIPN. 19600901 198701 1 001



Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS

Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC UNTUK RISK
ASSESSMENT PADA STEAM DRUM BOILER DI PABRIK I
PT. PETROKIMIA GRESIK**



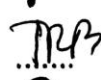

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ADHI THYA GUNAWAN
NRP. 02431 1340000 015

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|---------------------------------------|---|---------------------|
| 1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. |  | Pembimbing I |
| 2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc. |  | Pembimbing II |
| 3. Totok Ruki Biyanto, S.T, M.T, Ph.D |  | Ketua Penguji |
| 4. Hendra Cordova, S.T, M.T. |  | Penguji I |

SURABAYA
Januari, 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK *RISK ASSESSMENT* PADA *STEAM DRUM BOILER* DI PABRIK I PT. PETROKIMIA GRESIK

Nama Mahasiswa : Adhi Thya Gunawan
NRP : 0231 1340000 015
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing: 1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.
2. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

Abstrak

Steam sangat berperan penting dalam proses produksi amonia pada pabrik I PT Petrokimia Gresik. Kebutuhan steam diproduksi oleh *steam drum* yang berfungsi untuk memisahkan uap dan air. Proses pada *steam drum* harus selalu dijaga, sehingga tidak mengalami kerugian dari segi material maupun non material. Untuk mencegah dan mengurangi dampak dari resiko yang ditimbulkan dari potensi bahaya, diperlukan adanya risk assessment. Hasil penilaian dan bahaya harus mudah dimengerti oleh pekerja yang memiliki pengetahuan awam dalam bidang *safety*. Keluaran sistem *fuzzy* dalam variable linguistik akan memberikan kemudahan dalam memberikan hasil yang mudah dimengerti. Sehingga sistem *fuzzy* merupakan metode yang paling tepat untuk digunakan dalam sebuah penilaian, estimasi maupun prediksi secara kualitatif dan kuantitatif. Berdasarkan penelitian, didapatkan bahwa penggunaan *fuzzy logic* memberikan nilai indeks resiko yang memiliki perbedaan berkisar antara 10% jika dibandingkan dengan risk matriks klasik.

Kata Kunci: *Steam Drum*, *Fuzzy Logic*, risk matriks

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK *RISK ASSESSMENT* PADA *STEAM DRUM BOILER* DI PABRIK I PT. PETROKIMIA GRESIK

Name : Adhi Thya Gunawan
NRP : 0231 1340000 015
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : 1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.
2. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

Abstract

Steam is essential in the production of ammonia at PT Petrokimia Gresik's factory. Steam needs with steam drum that serves to separate the vapor and air. The process of steam drum must always be maintained, so that it does not experience any material or non material loss. To prevent and mitigate the impact of hazards, risk assessment is required. The results of the assessment and the hazards should be easily understood by the workers who have lay knowledge in the field of safety. The output of the fuzzy system in linguistic variables will provide the ease of delivering easy-to-understand results. Appropriate methods to use in a qualitative and quantitative assessment, estimation and prediction. Based on the research, the use of fuzzy logic gives an index value that has a difference between 10% when compared with classical risk matrix.

Keywords: *Steam Drum, Fuzzy Logic, risk matrix*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa terpanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi berkat dan rahmatnya. Atas petunjuk, dan karunia-Nya penulis telah melaksanakan tugas akhir periode gasal tahun ajaran 2017/2018 sampai dengan menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul :

IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK *RISK ASSESSMENT* PADA *STEAM DRUM BOILER* DI PABRIK I PT. PETROKIMIA GRESIK

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memenuhi mata kuliah TF 141581 - Tugas Akhir di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Terselesainya tugas akhir ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah membantu, maka pada kesempatan kali ini ijin penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. dan Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan serta gambaran umum terkait risk assessment.
2. Agus Muhamad Hatta, ST, Msi, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Seluruh Dosen Teknik Fisika FTI-ITS yang telah memberikan dukungan dan ilmunya kepada penulis.
4. Keluarga tercinta yang selalu mendoakan, mendukung serta mengijinkan untuk melaksanakan Tugas Akhir di PT. Petrokimia Gresik.
5. Bapak Eko selaku Kepala Bagian HAR 1 PT. Petrokimia Gresik yang telah mengijinkan penulis untuk melakukan pengambilan data.
6. Segenap Dewan Direksi PT. Petrokimia Gresik yang telah memberikan ijin pengambilan data kepada penulis.

7. Mas Lugas dan Said Sadad selaku karyawan PT. Petrokimia Gresik yang telah membantu penulis.
8. Teman-teman di Kota Cilegon Galih Budi, Alfian Fadli, Dwityo Naufal, Febrianto Bimo dan Audi Abraham yang telah membantu segala kebutuhan hidup saat kerja praktek di Cilegon
9. Vania yang telah memberikan dukungan dan semangat selama pengerjaan tugas akhir ini
10. Seluruh teman-teman Teknik Fisika angkatan 2013, terima kasih atas bantuannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih terdapat kekurangan baik dari segi isi, cara penyampaian maupun teknik penulisan sehingga kritik dan saran akan penulis terima dengan lapang dada.

Akhirnya, semoga laporan ini dapat bermanfaat serta menambah pengetahuan dan wawasan baik bagi pembaca maupun penulis sendiri.

Surabaya, 22 Desember 2017
Penulis

Adhi Thya Gunawan
NRP. 0231 1340000 015

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	vii
LEMBAR PENGESAHAN	viii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR SINGKATAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Steam Drum</i> D110211	3
2.2 <i>Hazard and Operability Study</i> (HAZOPS).....	4
2.3 <i>Control Chart Xbar-S</i>	7
2.4 <i>Fuzzy Logic</i>	7
2.4.1 Himpunan <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Set</i>)	7
2.4.2 Sistem Interferensi <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Interference System</i>)	11
2.5 <i>Layer of Protection Analysis</i> (LOPA)	10
2.6 <i>Fuzzy Layer of Protection Analysis</i> (fLOPA)	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Flowchart Penelitian	18
3.2 Tahap-Tahap Penelitian	19
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Proses Unit Utilitas	37
4.2 Analisa Potensi Bahaya	38
4.2.1 Potensi Bahaya <i>Steam Drum</i>	38
4.3 Analisis Resiko	42
4.4 Analisis Risk Ranking dan Evaluasi HAZOPS	46
4.5 <i>Layer of Protection Analysis</i> (LOPA)	46
4.6 <i>Fuzzy Layer of Protection Analysis</i> (LOPA)	48
4.6.1 <i>Fuzzy Logic</i> untuk <i>frequency</i> , FLS (F)	48
4.6.2 <i>Fuzzy Logic</i> untuk <i>severity</i> , FLS (S)	49
4.6.3 <i>Fuzzy Logic</i> untuk <i>risk</i> , FLS (R)	51
4.6.4 Defuzzifikasi untuk <i>Initiating Event</i> ke 1	524
4.6.5 Defuzzifikasi untuk <i>Initiating Event</i> ke 3	535
4.6.6 Defuzzifikasi untuk <i>Initiating Event</i> ke 4	54
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 P&ID steam drum D-110211.....	4
Gambar 2. 2 Fuzzy Interference System	11
Gambar 2. 3 LOPA.....	11
Gambar 2. 4 Fungsi dari Layer of Protection pada fLOPA.....	15
Gambar 2. 5 Struktur dari Fuzzy LOPA.....	16
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	18
Gambar 3. 2 HAZOP to LOPA	26
Gambar 3. 3 Sistem Fuzzy FLOPA.....	34
Gambar 4. 1 Unit Utilitas	37
Gambar 4. 2 Node Steam Drum	38
Gambar 4. 3 Grafik Xbar -S Chart LT-611	39
Gambar 4. 4 Grafik Xbar -S Chart PT-610	39
Gambar 4. 5 Grafik Xbar -S Chart TT-601	40
Gambar 4. 6 Grafik Xbar -S Chart TT-610	41
Gambar 4. 7 Grafik Xbar -S Chart TT-611	41
Gambar 4. 8 Sistem Fuzzy FLOPA.....	48
Gambar 4. 9 Event Tree LOPA	49
Gambar 4. 10 Fungsi Keanggotaan Frekuensi	49
Gambar 4. 11 Fungsi Keanggotaan Severity	51
Gambar 4. 12 Fungsi Keanggotaan Risk.....	52
Gambar 4. 13 Defuzzifikasi IE ke 1 dan 2	53
Gambar 4. 14 Defuzzifikasi IE ke 3	53
Gambar 4. 15 Defuzzifikasi IE ke 4	54
Gambar 4. 16 Risk Matriks Klasik.....	55
Gambar 4. 17 Fuzzy Risk Matriks.....	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Guide Words HAZOP	5
Tabel 2. 2 Format Lembar Kerja Analisa HAZOP	7
Tabel 2. 3 Target Mitigated Event Likelihood	15
Tabel 3. 1 Kriteria Consequence PT. Petrokimia Gresik	22
Tabel 3. 2 Kriteria Consequence PT. Petrokimia Gresik (lanjutan)	23
Tabel 3. 3 Kriteria Likelihood PT. Petrokimia Gresik	23
Tabel 3. 4 Risk Ranking PT. Petrokimia Gresik	24
Tabel 3. 5 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum (CCPS, 2001)	29
Tabel 3. 6 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum (lanjutan)	30
Tabel 3. 7 Target Mitigated Event Likelihood (TMEL).....	31
Tabel 3. 8 Kategori Safety Integrity Level (SIL)	33
Tabel 3. 9 Rule base FLOPA.....	34
Tabel 4. 1 Analisis cause and consequences node steam drum...	43
Tabel 4. 2 Analisis cause and consequences node steam drum (lanjutan)	45
Tabel 4. 3 Hasil analisis LOPA	47
Tabel 4. 4 Rule base dari risk	52
Tabel 4. 5 Nilai Risk Index	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SINGKATAN

BPCS = Basic Process Control System

HAZOP = Hazard and Operability

ICL = Initiation Cause Likelihood

IPL = Independent Protection Layer

IEL = Intermediate Event Likelihood

LOPA = Layer of Protection Analysis

MTTF = Mean Time To Failure

PFD* = Probability of Failure on Demand

PFD** = Process Flow Diagram

P&ID = Piping and Instrumentation Diagram

RRF = Risk Reduction Factor

SIF = Safety Instrumented Function

SIL = Safety Integrity Level

SIS = Safety Instrumented System

TMEL = Target Mitigated Event Likelihood

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik adalah salah satu pabrik yang bergerak dibidang produksi pupuk yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. PT Petrokimia Gresik memproduksi berbagai macam pupuk seperti Urea, ZA, SP-36, ZK, NPK Phonska, NPK Kebomas, dan pupuk organik petrokanik. Petrokimia Gresik juga memproduksi bahan kimia seperti Amoniak, Asam Sulfat (98% H_2SO_4), Asam Fosfat (100% P_2O_5), Aluminium Fluoride, *Cement Retarder* dan sebagainya.

Steam sangat berperan penting dalam proses produksi amonia pada pabrik I PT Petrokimia Gresik. Kebutuhan steam diproduksi oleh *steam drum* yang berfungsi untuk memisahkan uap dan air. *Steam drum* memiliki peran vital dalam mendukung pabrik amonia di PT Petrokimia Gresik yang telah berjalan selama kurang lebih 32 tahun. Proses pada *steam drum* harus selalu dijaga, sehingga tidak mengalami kerugian dari segi material maupun non material. Untuk mencegah dan mengurangi dampak dari resiko yang ditimbulkan dari potensi bahaya, diperlukan adanya *risk assessment*.

Risk assessment adalah penilaian suatu resiko dengan membandingkan tingkat atau kriteria resiko yang telah diterapkan. Penilaian risiko memerlukan informasi rinci tentang frekuensi tingkat kegagalan komponen tertentu dari *steam drum* yang terjadi secara tidak pasti. Salah satu cara efisien saat ini untuk menangani dengan ketidakpastian itu adalah teori kemungkinan yang muncul dari *fuzzy set* yang dikembangkan oleh Zadeh (1965).

Layer Of Protection Analysis (LOPA) merupakan bentuk metode sederhana dalam penilaian resiko yang menunjukkan lapisan perlindungan secara kualitatif dan kuantitatif dalam membuat sebuah skenario bahaya yang akan terjadi (Kenneth, First, 2010). Pada LOPA klasik terdapat batasan pasti antara keadaan aman dan tidak aman. Sebaliknya, himpunan fuzzy

menunjukkan perubahan yang mulus dari keadaan aman ke
keadaan tidak aman. Ini

menunjukkan bahwa keamanan bisa dianggap sebagai *fuzzy issue* karena keamanan plant tidak dapat diklasifikasikan secara pasti sebagai aman atau tidak aman, sebab selalu ada potensi terjadinya bahaya (Markowski & Mannan, 2008). Oleh karena itu perlu dilakukan *risk assessment* menggunakan penerapan *fuzzy logic* berbasis metode *Layer Of Protection Analysis* untuk mengurangi ketidakpastian bahaya yang dapat terjadi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan dalam tugas akhir ini, yaitu:

- a. Bagaimana merancang *fuzzy logic* yang dapat diaplikasikan untuk *risk assessment* pada *steam drum boiler*?
- b. Bagaimana menganalisa kinerja *fuzzy logic* jika diimplementasikan untuk *risk assessment* pada *steam drum boiler*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Akan dilakukan perancangan fuzzy logic untuk risk assessment pada steam drum boiler
- b. Akan dilakukan Analisa kinerja fuzzy logic jika diimplementasikan untuk risk assessment pada steam drum boiler

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan, maka batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

- a. Plant yang digunakan adalah *steam drum boiler* Pabrik I PT. Petrokimia Gresik
- b. Analisa bahaya menggunakan metode HAZOPS
- c. Mempergunakan metode LOPA untuk menganalisa lapisan proteksi yang ada pada *steam drum*
- d. Melakukan perancangan *fuzzy logic* untuk *risk assessment* pada *steam drum*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Steam Drum* D110211

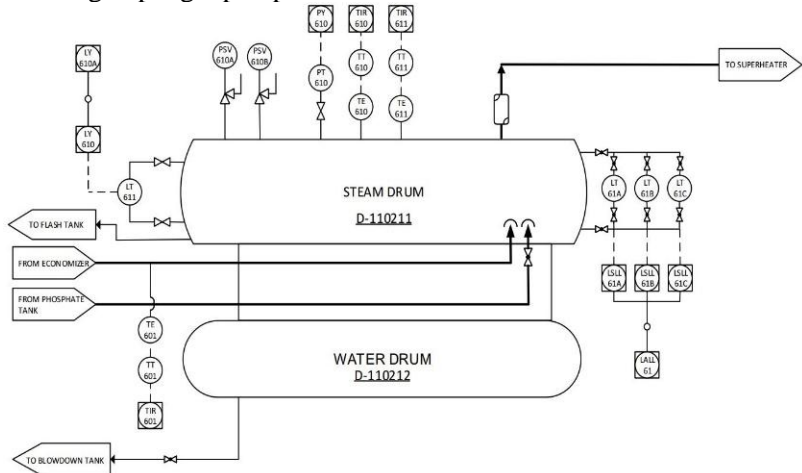
Steam drum adalah salah satu komponen pada boiler pipa air yang berfungsi sebagai reservoir campuran air dan uap air, dan juga berfungsi untuk memisahkan uap air dengan air pada proses pembentukan uap superheater.

Steam drum berfungsi untuk:

- a. Mengatur tinggi permukaan air untuk mencegah terjadi kekurangan air saat boiler beroperasi yang dapat menyebabkan overheating pada pipa boiler
- b. Menampung air yang nantinya akan dipanaskan pada pipa-pipa penguap (wall tube) dan menampung uap air dari pipa-pipa penguap sebelum dialirkan menuju superheater
- c. Memisahkan uap dan air yang telah dipisahkan di ruang bakar (furnace)
- d. Mengatur kualitas air boiler dengan membuang kotoran-kotoran terlarut di dalam boiler melalui continuous blowdown.

Prinsip kerja *steam drum* yaitu *feed water* (air umpan) yang dipasok oleh boiler feed water pump (pompa air umpan) masuk ke boiler lalu menuju economizer dan selanjutnya air masuk ke steam drum. Dari steam drum, air dipompa oleh pompa sirkulasi boiler menuju ke raiser tube/wall tube untuk diolah dapat mencapai fase uap saturasi. Air dari raiser tube air kembali masuk ke steam drum. Komponen yang terdapat di dalam steam drum akan memungkinkan terjadinya proses pemisahan antara air dengan uap air, sehingga air dipompa kembali menuju raiser tube, sedangkan uap yang terpisah akan menuju ke pipa boiler sisi superheater. Uap saturated yang masuk ke pipa-pipa superheater dipanaskan lagi lebih lanjut sehingga mencapai uap superheater dan mencapai syarat untuk masuk turbin uap (dengan ketentuan suhu tertentu). Adapun fungsi dari steam generator adalah untuk memproduksi

uap (steam) guna menggerakkan turbin. Melalui proses produksi yaitu dengan penguapan pada boiler drum.



Gambar 2. 1 P&ID steam drum D-110211

2.2 Hazard and Operability Study (HAZOPS)

Hazard and Operability Study (HAZOPS) adalah suatu teknik identifikasi dan analisis bahaya yang formal, sistematis, logical, dan terstruktur untuk meninjau suatu proses atau operasi pada sebuah sistem secara otomatis dan menguji potensi deviasi operasi dari kondisi desain yang dapat menimbulkan masalah operasi proses dan bahaya. (Rausand, 2004).

Terdapat empat tujuan dasar dari analisis studi HAZOP (Nolan, 1994) yaitu:

- Untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab dari semua perubahan penyimpangan dalam fungsi proses.
- Untuk menentukan semua bahaya-bahaya mayor dan permasalahan operasi.
- Untuk memutuskan aksi apa yang dibutuhkan untuk mengontrol bahaya atau permasalahan *operability*
- Untuk meyakinkan bahwa aksi-aksi yang telah diputuskan terimplementasi dan terdokumentasi.

Dalam studi HAZOPS, *review team* harus mengidentifikasi area-area atau komponen-komponen dari sistem yang akan dianalisa selama proses review. Dalam industry kimia, terdapat komponen-komponen individu yang mengacu pada “node-node”. Terdapat tiga kriteria dasar dalam mengidentifikasi node-node yang akan direview (Dennis P. Nolan, 1994) yaitu:

- a. Membagi fasilitas kedalam sistem proses dan subsistem.
- b. Mengikuti aliran proses dari sistem.
- c. Mengisolasi subsistem kedalam koponen mayor yang mencapai sebuah objek tunggal seperti peningkatan tekanan, pemisahan gas-gas, penghilangan air dll.

Guide Words merupakan kata-kata mudah (*simple*) yang digunakan untuk desain secara kualitatif atau kuantitatif dan sebagai penunjuk serta simulasi proses brainstorming untuk mengidentifikasi bahaya-bahaya proses. Sedangkan proses parameter merupakan properti item-item yang spesifik seperti *temperature*, *pressure*, *phase*, dan *flow*. Berikut merupakan contoh dari *guide words* dan parameter proses HAZOP pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Guide Words *HAZOP*

Guide Words	Meaning
No	Negation of the Design Intent
Less	Quantitative Decrease
More	Quantitative Decrease
Part Of	Qualitative Decrease
As Well As	Qualitative Decrease
Reverse	Logical Opposite of the intent
Other Than	Complete Substitution

Sumber: *Center for Chemical Process Safety, 2004*

Teknik analisa HAZOP membutuhkan gambar proses atau prosedur yang dibagi menjadi titik studi, bagian proses, atau langkah operasi dan potensi bahaya proses tersebut ditempatkan

dengan menggunakan *guide words*. Hasil dari HAZOP dicatat dalam format tabulasi, dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Format Lembar Kerja Analisa HAZOP

Guide Words	Dev	Consequence	Safeguard	S	L	R	Recs	Remarks	Comments
No									
Less									

2.3 Control Chart *Xbar-S*

Control charts merupakan salah satu kegiatan *statistic process control* untuk mengetahui karakteristik proses yang dikendalikan terhadap periode waktu tertentu. Selain itu juga untuk menentukan batas atas, bawah, dan kendali. Berdasarkan data proses yang plant dapat diketahui apakah proses tersebut dalam range kendali atau justru diluar kendali (*out of control*). Pada tugas akhir ini menggunakan *control chart* jenis *Xbar* dan *S* serta batas-batas kendali menggunakan *upper control limits* (UCL)/ batas kendalai atas, *lower control limits* (LCL)/ batas bawah, dan *center line* (CL) / batas tengah. Parameter *control chart* tersebut didapatkan dari perhitungan persamaan dibawah.

Xbar Chart

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} \quad (2.1)$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S} \quad (2.2)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S} \quad (2.3)$$

S Chart

$$CL_S = \bar{s} \quad (2.4)$$

$$UCL_{\bar{s}} = B_4 \bar{s} \quad (2.5)$$

$$LCL_{\bar{s}} = B_3 \bar{s} \quad (2.6)$$

Dimana

\bar{X} = rata-rata data subgrup

A_3 = control limit factor (chart average)

B_3 & B_4 = factor for control limits (chart standart deviation)

\bar{s} = standart deviation of subgroup

\bar{S} = mean of standart deviation subgroup

2.4 Fuzzy Logic

Logika *fuzzy* merupakan salah satu komponen pembentuk *Soft Computing*. Dasar logika *fuzzy* adalah teori himpunan *fuzzy*. Pada teori himpunan *fuzzy*, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika *fuzzy* tersebut.

Fuzzy logic merupakan peningkatan dari penerapan logika boolean, pada aljabar boolean yang hanya mengenal notasi 1 dan 0. *Fuzzy logic* memungkinkan keanggotaan bernilai antara 0 sampai dengan 1. Oleh sebab itu bisa dikatakan bahwa sebuah kondisi bisa bernilai sebagian benar dan sebagian salah pada saat bersamaan.

Ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan *fuzzy logic*, antara lain :

- a. Konsep *fuzzy logic* mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzys* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- b. *Fuzzy logic* sangat fleksibel.
- c. *Fuzzy logic* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- d. *Fuzzy logic* mampu memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang sangat kompleks.

2.4.1 Himpunan Fuzzy (Fuzzy Set)

Himpunan *fuzzy* adalah sekumpulan objek x dimana masing-masing objek memiliki nilai keanggotaan " μ " atau

disebut juga dengan nilai kebenaran. Jika X adalah sekumpulan objek dan

anggotanya dinyatakan dengan x maka himpunan *fuzzy* dari A di dalam X adalah himpunan dengan sepasang anggota.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam sistem fuzzy, yaitu :

1. Variable Fuzzy

Variable fuzzy merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem fuzzy. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dan lain-lain.

2. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang memiliki suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy. Contoh: variabel temperature terbagi menjadi 5 himpunan fuzzy, yaitu: PANAS, DINGIN, SEJUK, NORMAL, dan HANGAT.

3. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa bertambah secara monoton dari kiri ke kanan atau sebaliknya. Contoh semesta pembicaraan:

- a. Semesta pembicaraan untuk variabel umur: $[0 + \infty]$
- b. Semesta pembicaraan untuk variabel temperatur: $[0 40]$

4. Domain

Domain himpunan fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diizinkan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy. Seperti semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa bertambah secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai domain dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Contoh domain himpunan fuzzy:

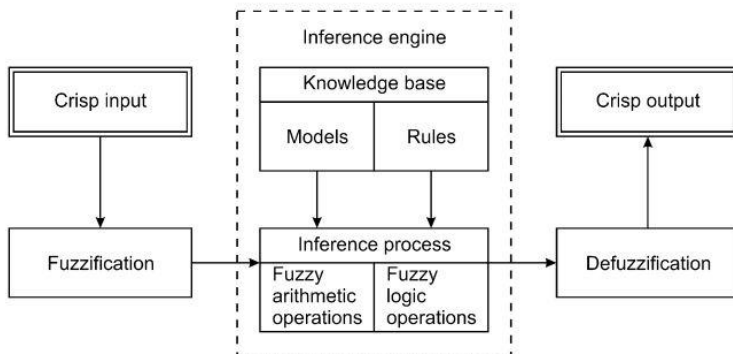
- a. DINGIN = $[0, 20]$
- b. SEJUK = $[15, 25]$
- c. NORMAL = $[20, 30]$
- d. HANGAT = $[25, 35]$

2.4.2 Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System*)

Sistem inferensi fuzzy (*FIS*) adalah sebuah sistem pengambilan keputusan yang didasarkan pada teori fuzzy, aturan *fuzzyif-then* dan logika fuzzy. Struktur dasar sistem inferensi fuzzy terdiri atas:

- Sebuah basis aturan yang berisi aturan *fuzzyif-then*.
- Basis data yang mendefinisikan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy.
- Unit pengambilan keputusan yang menyatakan operasi inferensi atau aturan yang ada.
- Fuzzifikasi yang mentransformasikan masukan klasik (*crisp*) ke derajat tertentu sesuai dengan fungsi keanggotaan.
- Defuzzifikasi yang mentransformasikan hasil inferensi fuzzy ke dalam bentuk *crisp*.

Sistem inferensi fuzzy (*Fuzzy Inference System*) pada dasarnya mendefinisikan pemetaan nonlinear dari vektor data input menjadi skalar output. Proses pemetaan melibatkan input/output fungsi keanggotaan, operator-operator fuzzy, aturan fuzzy *if-then*, agregasi dari himpunan output dan defuzzification.

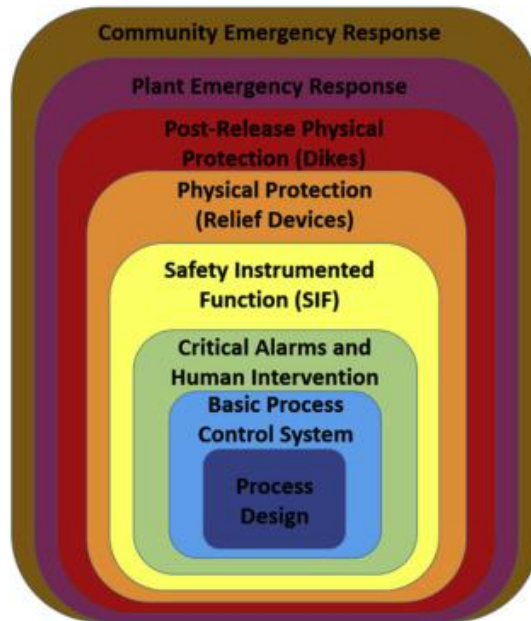


Gambar 2. 2 Fuzzy Inference System

2.5 *Layer of Protection Analysis (LOPA)*

Layer of Protection Analysis (LOPA) merupakan metode semi-kuantitatif yang menggunakan tingkatan kategori sebagai pendekatan parameter untuk menentukan pengurangan risiko sehingga sesuai dengan kriteria yang dapat diterima (CCPS, 2002). Pendekatan dilakukan dengan mengevaluasi skenario terburuk dimana semua lapisan pelindung gagal ketika terjadi suatu kegagalan. Frekuensi dari konsekuensi yang tidak diinginkan dapat diketahui dengan mengalikan PFDs lapisan pelindung dengan sistem proteksi yang diinginkan. Dengan membandingkan frekuensi dari konsekuensi yang tidak diinginkan dengan frekuensi risiko yang dapat ditoleransi maka pengurangan risiko dan nilai SIL dapat ditentukan (Marshall and Scharpf, 2002; CCPS, 2001).

LOPA merupakan pengembangan dari *event tree analysis* (ETA) dimana sistem proteksi dari kejadian yang tidak diinginkan dihubungkan dengan logika AND sehingga nilai frekuensi yang tidak diinginkan dapat diketahui dengan perkalian probabilitas. Nilai frekuensi tersebut didapatkan dengan mengalikan frekuensi kejadian awal dengan *probability failure on demand* (PFD) dari setiap lapisan pelindung (Marshall and Scharpf, 2002). Ilustrasi lapisan pelindung LOPA digambarkan dalam bentuk “onion” dimana suatu sistem atau proses mempunyai beberapa lapisan pelindung. Penentuan lapisan pelindung dari suatu sistem atau proses disesuaikan beberapa kriteria tingkat risiko yang dapat diterima. Kriteria tersebut terdiri dari frekuensi fatalitas, frekuensi kebakaran, frekuensi konsekuensi dan jumlah *independent protection layer* (IPL) dari jenis konsekuensi yang mungkin terjadi.



Gambar 2. 3 LOPA

Sistem proteksi pada LOPA terdiri dari beberapa lapisan pelindung diantaranya:

- *Basic Process Control System*
- *Critical Alarms*
- *Safety Intrumented System (SIF)*
- *Physical Protection (Relief Devices)*
- *Post-release Physical Protection*
- *Plant Emergency Response*
- *Community Emergency Response*

Karakteristik lapisan perlindungan dan bagaimana mereka seharusnya dikelompokkan sebagai IPL dalam metode LOPA dibahas pada penjelasan di bawah ini: (CCPS, 2001)

1. *Process Design*

Pada banyak perusahaan, diasumsikan bahwa beberapa skenario tidak dapat terjadi karena desain *inherently safer* pada peralatan dan proses. Pada perusahaan lainnya, beberapa fitur pada desain proses yang *inherently safer* dianggap *nonzero* PFD masih terjadi-artinya masih mungkin mengalami kegagalan industri. Desain proses harus dianggap sebagai IPL, atau ditetapkan sebagai metode untuk mengeliminasi skenario, tergantung pada metode yang digunakan oleh organisasi.

2. *Basic Process Control System (BPCS)*

BPCS meliputi kendali manual normal, adalah level perlindungan pertama selama operasi normal. BPCS didesain untuk menjaga proses berada pada area selamat. Operasi normal dari BPCS *control loop* dapat dimasukkan sebagai IPL jika sesuai kriteria. Ketika memutuskan menggunakan BPCS sebagai IPL, analis harus mengevaluasi efektivitas kendali akses dan sistem keamanan ketika kesalahan manusia dapat menurunkan kemampuan BPCS.

3. *Critical Alarms and Human Intervention*

Sistem ini merupakan level perlindungan kedua selama operasi normal dan harus diaktifkan oleh BPCS. Tindakan operator, diawali dengan alarm atau observasi, dapat dimasukkan sebagai IPL ketika berbagai kriteria telah dapat memastikan keefektifan tindakan

4. *Safety Instrumented Function (SIF)*

SIF adalah kombinasi sensor, *logic solver*, dan *final element* dengan tingkat integritas keselamatan spesifik yang mendeteksi keadaan diluar batas dan membawa proses berada pada fungsi yang aman. SIF merupakan fungsi *independent* dari BPCS. SIF normalnya ditetapkan sebagai IPL dan desain dari suatu sistem, tingkat pengurangan, dan jumlah dan tipe pengujian akan menentukan PFD dari SIF yang diterima LOPA.

5. *Physical Protection (Relief Valves, Rupture Disc, etc)*

Alat ini, ketika ukuran, desain, dan perawatannya sesuai, adalah IPL yang dapat menyediakan perlindungan tingkat tinggi untuk mencegah tekanan berlebih. Keefektifan mereka dapat rusak akibat kotor dan korosi, jika *block valves* dipasang di bawah *relief valve*, atau jika aktivitas inspeksi dan perawatan sangat memprihatinkan.

6. *Post Release Protection (Dikes, Blast Walls, etc)*

IPLs ini adalah alat pasif yang dapat menyediakan perlindungan tingkat tinggi jika didesain dan dirawat dengan benar. Walaupun laju kegagalan mereka rendah, kemungkinan gagal harus dimasukkan dalam skenario.

7. *Plant Emergency Respons*

Fitur ini (pasukan pemadam kebakaran, sistem pemadaman manual, fasilitas evakuasi, dll) secara normal tidak ditetapkan sebagai IPLs karena mereka diaktifkan setelah pelepasan awal dan terlalu banyak variabel mempengaruhi keseluruhan efektivitas dalam mengurangi skenario.

8. *Community Emergency Response*

Pengukuran ini, yang meliputi evakuasi komunitas dan tempat perlindungan secara normal tidak ditetapkan sebagai IPLs karena mereka diaktifkan setelah pelepasan awal dan terlalu banyak variabel mempengaruhi keseluruhan efektivitas dalam mengurangi skenario. Hal ini tidak menyediakan perlindungan terhadap personil *plant*.

Pada *Layer of Protection Analysis*, perhitungan nilai SIL dari *Safety Instrumented Function* (SIF) diperoleh dari nilai perbandingan *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL) dengan *Initiating Event Likelihood* (IEL) yang didapatkan dari perhitungan laju kegagalan komponen. Penentuan TMEL disesuaikan dengan tingkat keparahan bahaya dan keamanan yang diharapkan oleh perusahaan. Terdapat standar yang mewakili tingkat keparahan yang telah diterjemahkan kedalam angka

TMEL. Penjelasan tingkat keparahan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Target Mitigated Event Likelihood

<i>Severity Level</i>	<i>Safety consequence</i>	<i>Target mitigated event likelihood</i>
C_A	<i>Single first aid injury</i>	<i>3.10-2 per year</i>
C_B	<i>Multiple first aid injuries</i>	<i>3.10-3 per year</i>
C_C	<i>Single disabling injury or multiple serious injuries</i>	<i>3.10-4 per year</i>
C_D	<i>Single on-site fatality</i>	<i>3.10-5 per year</i>
C_E	<i>More than one and up to three on-site fatalities</i>	<i>1.10-5 per year</i>

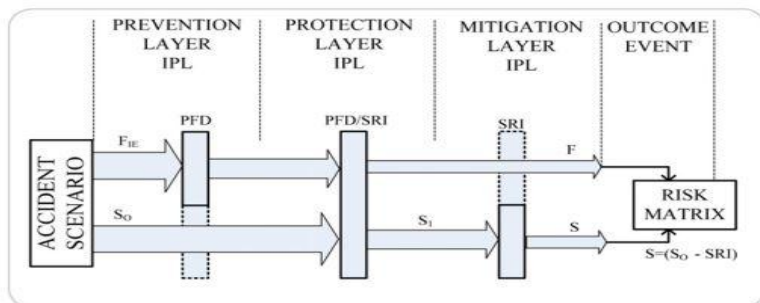
Sumber : Nordhagen (2007)

2.6 Fuzzy Layer of Protection Analysis (fLOPA)

fLOPA memberikan pendekatan baru untuk risk assessment berdasarkan dari 2 asumsi :

1. Fungsi yang berbeda dari lapisan proteksi
2. Aplikasi dari *fuzzy logic system* (FLS)

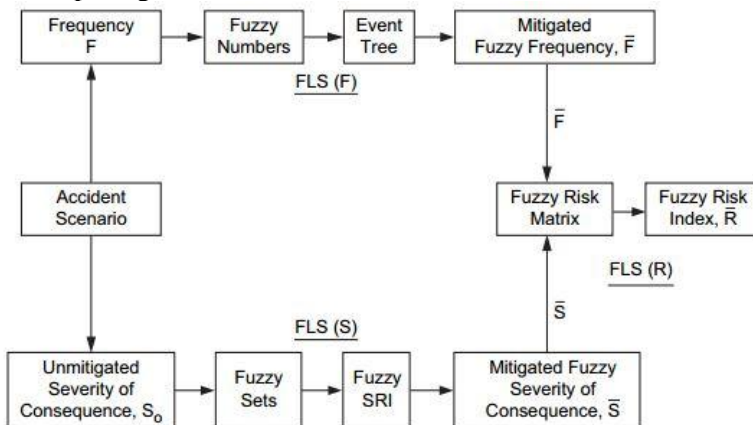
Asumsi yang pertama merujuk pada struktur dari lapisan proteksi dan perbedaan fungsi dalam risk assessment. Dua komponen resiko diperhitungkan dengan cara yang berbeda: Hasil frekuensi dari skenario kecelakaan tertentu (F) hanya dipengaruhi oleh fungsi pencegahan dan perlindungan. Sedangkan tingkat severity (S) hanya dipengaruhi oleh proteksi dan mitigasi. Konsep ini dapat dilihat pada gambar berikut:

**Gambar 2. 4** Fungsi dari Layer of Protection pada fLOPA

Asumsi yang kedua berfokus pada *fuzzy logic system* (FLS) untuk diterapkan pada prosedur LOPA. FLS memberikan pemodelan *fuzzy* yang tepat, dan operasi *fuzzy* yang dibutuhkan oleh model yang digunakan dalam LOPA. *Fuzzy logic system* memiliki beberapa komponen berikut:

1. Fuzzifier menguraikan variable input system LOPA [Frekuensi (F), severity (S), dan resiko (R)] dengan crisp number dan memetakan crisp number menjadi fuzzy set
2. Interference dari input FLS memetakan himpunan *fuzzy*, yang dilakukan base knowledge ke dalam output *fuzzy*. Hal tersebut mengikuti aturan “*if-then-else*” yang ditetapkan berdasarkan pengetahuan manusia dan perhitungan matematis yang secara khusus digunakan pada analisis tertentu.
3. Defuzzifier menyediakan proses *weighting* dan *averaging* output dari semua aturan fuzzy menjadi satu output tunggal yang tepat, defuzzified, dan crisp value untuk tiap variable.

Model Fuzzy Layer of Protection secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar berikut:



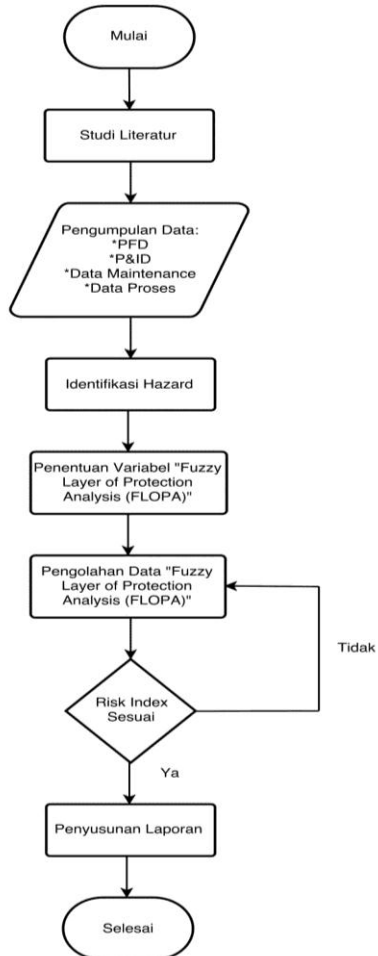
Gambar 2. 5 Struktur dari Fuzzy LOPA

fLOPA dimulai dari skenario insiden yang teridentifikasi yang ditunjukkan oleh satu pasang event: *Initiating Event* (IE) dan konsekuensi tertentu. Hal ini bisa didapatkan dengan aplikasi dari metode analisis bahaya, terutama Hazop. Model ini menerapkan tiga sub sistem utama: dua paralel yaitu Frekuensi Fuzzy Logic System, FLS (F), yang menghitung frekuensi fuzzy sebuah skenario kejadian dan Severity Fuzzy Logic System, FLS (S), Untuk memperkirakan tingkat konsekuensi keparahan insiden tersebut.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini dirancang dengan beberapa tahapan, digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

3.2 Tahap-Tahap Penelitian

Berdasarkan dari alur diagram diatas dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1 Studi Literatur

Studi yang dilakukan terkait *risk assement* (HAZOPS) dengan metode LOPA, implementasi *fuzzy logic* untuk *risk assement*, karakteristik proses *steam drum* dan sistem instrumentasi dan kontrol pada plant. Sumber literatur berupa buku, jurnal penelitian, pustaka perusahaan, dan wawancara.

3.2.2 Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini diantaranya *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID), data *Process Flow Diagram* (PFD), *maintenance data*, data *Hazard and Operability* (HAZOP) dan wawancara secara langsung, baik dengan operator, bagian pemeliharaan maupun pembimbing lapangan.

3.2.3 Identifikasi Hazard

Identifikasi *hazard* dikerjakan dengan metode HAZOPS (*Hazard Operability Study*). Analisis meliputi risiko, peluang bahaya, serta deviasi yang terjadi pada *node steam drum* sehingga diketahui nilai resiko berdasarkan keseringan dan konsekuensi yang bisa terjadi. Tahapan dalam melakukan HAZOPS diantaranya:

a. Penentuan titik studi (*node*)

Untuk melakukan identifikasi *hazard* terlebih dahulu ditentukan titik studi (*node*). *Node* adalah pemisahan suatu unit proses menjadi beberapa bagian agar studi dapat dilakukan lebih terorganisir. Bertujuan untuk membantu dalam menguraikan dan mempelajari suatu bagian proses. Memilih titik studi berdasarkan pada komponen-komponen yang menjadi titik penting dan memengaruhi proses. Penjelasan proses pada titik studi digunakan untuk mengetahui karakteristik dari proses utama yang terjadi,

berupa *input*, proses, dan juga *output*. Pemilihan dan penjelasan proses diketahui dengan melihat P&ID dan PFD.

b. Penentuan Komponen Instrumentasi

Dari tiap titik studi yang ada, ditentukan komponen mana yang harus dalam keadaan baik guna mengatur proses di unit tersebut, dari mulai *input* yang menjadi bahan untuk proses, kemudian bagaimana proses pengolahan bahan baku yang terjadi, dan bagaimana *output* yang dihasilkan. Komponen tersebut terdiri dari *transmitter*, *indicator*, *controller* maupun *actuator* yang disertakan dalam *tag number* yang ada di P&ID.

c. Penentuan *guideword* dan deviasi

Guideword ditentukan dengan menggunakan data yang didapat dari data proses pembacaan transmitter selama 6 hari dari tanggal 14-19 Oktober 2017 dan diplot pada *control chart* untuk mendapatkan deviasi dari pengendalian proses. *Control chart* dibentuk dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} \quad (3.1)$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S} \quad (3.2)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \quad (3.3)$$

3.2.4 Penentuan Variabel *Fuzzy LOPA*

Variabel input dari FLOPA adalah berupa frekuensi dan *severity* yang didapatkan dari LOPA. Untuk mendapatkan frekuensi dan *severity* Sebelumnya terlebih dahulu dilakukan beberapa tahapan yaitu :

a. Estimasi *Causes* dan *Consequences*

Tiap komponen dalam sebuah proses tentunya memiliki risiko. Salah satu komponen risiko dari skenario kecelakaan adalah *cause* dan *consequences*. Dalam LOPA, *cause* dan

consequences diperkirakan berdasarkan tingkat keparahan.
Cause adalah penyebab dari suatu kejadian yang mengalami

penyimpangan. *Consequences* adalah akibat yang tidak diinginkan. Salah satu keputusan yang harus dibuat ketika memilih untuk mengimplementasikan LOPA adalah menentukan titik akhir dari *consequences*. Metode yang digunakan untuk mengkategorikan *consequences* harus konsisten dengan kriteria risiko yang dapat ditolerir perusahaan.

b. Penentuan *Risk Ranking*

Parameter *consequence* menunjukkan tingkat dampak bahaya yang diakibatkan karena adanya risiko penyimpangan dari keadaan yang diinginkan atau operasi yang diluar kendali. Tinjauan yang dilakukan berdasarkan dampak serta pengaruhnya terhadap aktivitas pabrik dan produksi. Standar dalam menentukan *consequence* dan *likelihood* mengikuti standar kriteria profil konsekuensi pabrik III PT. Petrokimia Gresik pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kriteria Consequence PT. Petrokimia Gresik

	<i>Ranking</i>	Deskripsi
1	<i>Insignificant</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) tidak berdampak sama sekali, akibatnya tidak signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap terlaksana
2	<i>Minor</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) berdampak kecil, akibatnya kecil terhadap kelangsungan aktivitas, aktivitas tetap masih terlaksana
3	<i>Moderate</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) berdampak sedang, akibatnya sedang terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap masih terlaksana

Tabel 3. 2 Kriteria Consequence PT. Petrokimia Gresik (lanjutan)

	Ranking	Deskripsi
4	<i>Major</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) berdampak besar, akibatnya cukup signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas masih terlaksana walaupun tidak optimal
5	<i>Catastrophic</i>	Sumber risiko (unsur/komponen/objek dalam beraktivitas) berdampak sangat besar, akibatnya sangat signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tidak dapat terlaksana

Likelihood merupakan peluang risiko terjadinya bahaya pada komponen. Parameter *likelihood* yang digunakan mengikuti standar kriteria *likelihood* dari Departemen Produksi III PT. Petrokimia Gresik yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 3 Kriteria Likelihood PT. Petrokimia Gresik

	Ranking	Deskripsi
1	<i>Brand New Excellent</i>	Risiko jarang sekali muncul frekuensi kejadian kurang dari 4 kali dalam 10 tahun
2	<i>Very Good / Good Serviceable</i>	Risiko terjadi antara 4-6 kali dalam 10 tahun
3	<i>Acceptable</i>	Risiko terjadi antara 6-8 kali dalam 10 tahun
4	<i>Below Standart / Poor</i>	Risiko terjadi antara 8-10 kali dalam 10 tahun
5	<i>Bad / Unacceptable</i>	Risiko terjadi lebih dari 10 kali dalam 10 tahun

Parameter *risk ranking* merupakan perkalian antara *likelihood* dengan *consequence*.

$$Risk = Consequence (C) \times Likelihood (L) \quad (3.4)$$

Risk ranking yang dihimpun dari PT. Petrokimia Gresik ditampilkan pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3. 4 Risk Ranking PT. Petrokimia Gresik

Likelihood	Consequences				
	Kategori Alat C 1	Kategori Alat B 2	Kategori Alat B 3	Kategori Alat A 4	Kategori Alat A & L 5
(Brand New) 1	L1	L2	L3	L4	M5
(Very Good) 2	L2	L4	M6	M8	M10
(Acceptable) 3	L3	M6	M9	M12	H15
(Below Standar) 4	L4	M8	M12	H16	H20
(Bad) 5	M5	M10	H15	H20	H25

Keterangan :

L = *low risk*

M = *medium risk*

H = *high risk*

c. Identifikasi *Safeguard*

Setelah skenario diidentifikasi, skenario harus dikembangkan. Langkah berikutnya dalam mengembangkan skenario adalah untuk mengidentifikasi *safeguard* yang ada pada tempatnya, jika beroperasi sebagaimana yang diharapkan, mungkin mencegah skenario berlanjut pada *consequence*. *Safeguard* merupakan fasilitas yang membantu untuk mengurangi frekuensi terjadinya penyimpangan atau untuk mengurangi konsekuensinya. Pada prinsipnya, terdapat lima jenis *safeguard* yaitu:

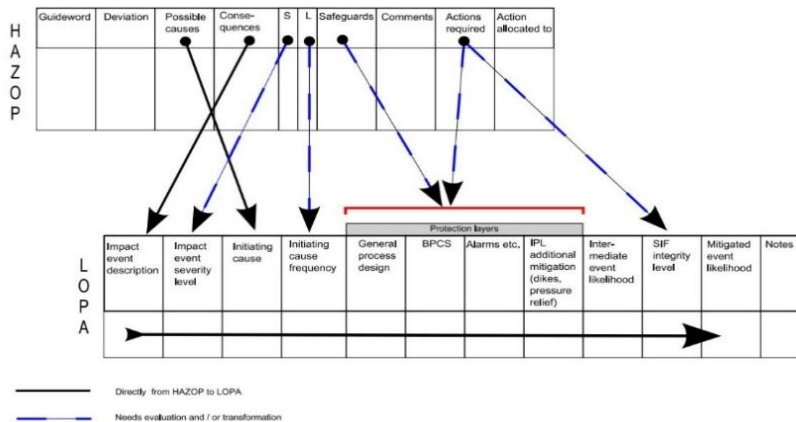
- *safeguard* untuk mengidentifikasi penyimpangan (misalnya detektor dan alarm, dan deteksi operator manusia).

- *safeguard* untuk mengimbangi deviasi (misalnya, sistem kontrol otomatis yang dapat mengurangi umpan (*feed*))

ke kapal dalam kasus *overflowing*. *Safeguard* jenis ini biasanya merupakan bagian terpadu dari proses kontrol).

- *safeguard* untuk mencegah penyimpangan terjadi (misalnya, sebuah *inert gas blanket* pada tangki penyimpanan zat yang mudah terbakar).
- *safeguard* untuk mencegah eskalasi (kenaikan) lebih lanjut dari penyimpangan (misalnya, akumulasi *trip* dari proses. Fasilitas ini sering saling berhubungan dengan beberapa unit dalam proses, biasanya dikontrol oleh komputer).
- *safeguard* untuk meringankan proses dari deviasi berbahaya (misalnya, katup pengaman tekanan berupa PSV dan sistem pembuangan)

Estimasi *cause*, *consequences*, *risk ranking* dan *safeguard* terdapat dalam HAZOP (*Hazard and Operability*). Pengisian kolom-kolom pada tabel LOPA, sebagian merupakan transformasi dari kolom-kolom pada tabel HAZOP yang terisi. Berikut merupakan gambar transformasi kolom dari tabel HAZOP menjadi kolom tabel LOPA disajikan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 HAZOP to LOPA

d. Perhitungan *initiation cause likelihood*

Initiation cause likelihood merupakan kemungkinan penyebab awal itu terjadi dalam rentang waktu satu tahun. Pada tahap ini diidentifikasi penyebab awal dari skenario dan menentukan berapa frekuensi kejadian per tahun yang dialami oleh suatu komponen tersebut. Dengan menggunakan persamaan pada buku Chemical Process Safety, Daniel A, Crowl dan Josep F. Louvar, 2002. Langkah pertama adalah menentukan MTTF dari suatu komponen tersebut. MTTF adalah nilai rata-rata dari jumlah waktu kejadian kegagalan dibagi dengan jumlah kegagalan itu sendiri. MTTF dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$MTTF = \frac{\sum TTF}{n TTF} \quad (3.5)$$

Selanjutnya menghitung *failure rate* tiap jam dan *failure rate* tiap tahun melalui persamaan berikut:

$$\lambda/\text{jam} = \frac{1}{MTTF}$$

$$\lambda/\text{tahun} = \frac{\lambda}{\text{jam}} \times 24 (\text{jam}) \times 365 (\text{hari}) \quad (3.6)$$

Langkah ketiga, dihitung nilai *reliability* menggunakan distribusi eksponensial dan serta penentuan nilai *initiation cause likelihood* (ICL) melalui persamaan berikut

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

$$ICL = 1 - R(t) \quad (3.8)$$

e. Identifikasi *Independent Protection Layer* (IPL)

Pada tahap ini melakukan identifikasi terhadap tiap-tiap lapisan pelindung dari *steam drum* dan menghitung PFD dari tiap lapisan pelindung. Lapisan pelindung yang digunakan

dalam LOPA meliputi IPL aktif dan pasif. Pada umumnya IPL aktif disediakan dengan perlindungan tingkat tinggi dapat berupa sistem atau tindakan yang langsung diambil oleh operator yang selalu bergerak dari satu posisi ke posisi lain sebagai respon terhadap perubahan seperti proses yang terukur atau sinyal dari sumber lainnya. Hal ini berbeda halnya dengan IPL pasif yang hanya memberi perlindungan tinggi namun tidak terdapat tindakan yang dapat mengurangi risiko, contohnya parit, tanggul, tembok tinggi, dan lainnya.

Nilai PFD akan bernilai 1 apabila tidak terdapat lapisan pelindung tersebut. Apabila terdapat lapisan pelindung tersebut, maka dapat dicari PFD lapisan tersebut menggunakan referensi yang ada. Jika kriteria IPL sudah tercapai maka PFD dikalikan dalam tabel *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Perkiraan PFD dapat ditemukan dalam tabel di CCPS (2001) dan OREDA. Tetapi data yang terdapat pada pabrik tertentu juga dapat digunakan. Nilai PFD dari masing-masing IPL ditunjukkan pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3. 5 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum (CCPS, 2001)

No	IPL	PFD
1	Sistem pengendalian proses dasar, jika tidak terkait dengan penyebab awal yang dipertimbangkan	1.10^{-1}
2	Alarm operator dengan waktu yang cukup untuk merespon	1.10^{-1}
3	<i>Relief valve</i>	1.10^{-2}
4	<i>Rupture disk</i>	1.10^{-2}
5	Flame / detonation arrestors	1.10^{-2}
6	Tanggul (bund/dike)	1.10^{-2}
7	Sistem drainase bawah tanah	1.10^{-2}
8	Saluran udara terbuka (<i>open vent</i>)	1.10^{-2}
9	Anti api (<i>fireproofing</i>)	1.10^{-2}
10	Dinding penahan ledakan/lubang perlindungan (<i>Blast-wall/bunker</i>)	1.10^{-3}
11	Alat cadangan yang identik (<i>redundant</i>)	1.10^{-1} (<i>maximum credit</i>)
12	Alat cadangan yang berbeda	$1.10^{-1} - 1.10^{-2}$

Tabel 3. 6 Nilai PFDs untuk IPLs pada proses secara umum
(lanjutan)

No	IPL	PFD
13	Kejadian lain	Berdasarkan pengalaman personil
14	SIS dengan SIL 1	$1.10^{-1} - 1.10^{-2}$
15	SIS dengan SIL 2	$1.10^{-2} - 1.10^{-3}$
16	SIS dengan SIL 3	$1.10^{-3} - 1.10^{-4}$
17	Trip pengaman mekanikal internal yang independen terhadap SIS	$1.10^{-1} - 1.10^{-2}$
18	Katup satu arah (NRV) atau <i>check valve</i>	1.10^{-1}
19	<i>“Inherently Safe” Design</i>	1.10^{-2}

f. Menghitung *Intermediate Event Likelihood* (IEL)

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai IEL. IEL merupakan kemungkinan kejadian menengah yang sesuai dengan *severity level*. Nilai dari *safeguard steam drum* yang dibagi menjadi beberapa *Independent Protection Layer* (IPL) dijumlahkan menjadi satu bagian yaitu berupa nilai *Safety Integrity Level*. Nilai *probability failure on demand* (PFD) masing-masing *Independent Protection Layer* (IPL) diolah dengan mengalikan dengan nilai *probability failure on demand* (PFD) kejadian awal dari plant *steam drum*. Perhitungan ini dilakukan dengan acuan *node* pada *Hazard Operability* (HAZOP) *steam drum*. Hasil dari perhitungan akan menjadi nilai *probability failure on demand* (PFD).

$$IEL = ICL \times PFD_{GPD} \times PFD_{BPCS} \times PFD_{AR} \times PFD_{AMR} \times PFD_{AMD} \quad (3.9)$$

Dimana :

ICL	= <i>initiating causes likelihood</i>
PFD _{GPD}	= Nilai PFD <i>general process design</i>
PFD _{BPCS}	= Nilai PFD <i>basic process control system</i>
PFD _{AR}	= Nilai PFD alarms dan respon dari operator
PFD _{AMR}	= Nilai PFD <i>additional restricted access</i>
PFD _{AMD}	= Nilai PFD <i>additional mitigation dike</i>

g. Penentuan *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL)

Untuk menentukan PFD dengan metode LOPA, yaitu dengan cara membagi nilai *Target Mitigated Event Likelihood*

(TMEL). Target pengurangan kemungkinan kejadian merupakan nilai yang ditentukan oleh manajemen perusahaan mengenai target pencegahan kemungkinan bahaya yang terjadi dari suatu konsekuensi. Apabila nilai dari $IEL \leq TMEL$ tidak diperlukan pengurangan risiko. Nilai TMEL ditampilkan pada Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3. 7 Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)

<i>Severity Level</i>	<i>Safety consequence</i>	<i>Target mitigated event likelihood</i>
C_A	<i>Single first aid injury</i>	3.10^{-2} per year
C_B	<i>Multiple first aid injuries</i>	3.10^{-3} per year
C_C	<i>Single disabling injury or multiple serious injuries</i>	3.10^{-4} per year
C_D	<i>Single on-site fatality</i>	3.10^{-5} per year
C_E	<i>More than one and up to three on-site fatalities</i>	1.10^{-5} per year

Sumber: Nordhagen (2007)

Setelah menentukan TMEL dan IEL dari hasil perkalian dari masing-masing lapisan pelindung, maka akan didapatkan PFD_{AVG}.

$$PFD_{AVG} = \frac{TMEL}{IEL} \quad (3.10)$$

Nilai PFD_{AVG} ini adalah nilai PFD yang disesuaikan dengan nilai SIL berdasarkan ketentuan IEC 61511. Nilai SIL ditampilkan pada Tabel 3.8 berikut ini.

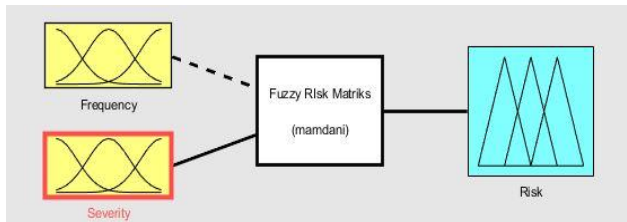
Tabel 3. 8 Kategori Safety Integrity Level (SIL)

Kategori SIL	PFD SIF	RRF= (1/PFD)
NR	$1 \leq PFD$	$RRF \leq 1$
SIL 0	$10^{-1} \leq PFD < 1$	$1 < RRF \leq 10$
SIL 1	$10^{-2} \leq PFD < 10^{-1}$	$10 < RRF \leq 100$
SIL 2	$10^{-3} \leq PFD < 10^{-2}$	$100 < RRF \leq 1.000$
SIL 3	$10^{-4} \leq PFD < 10^{-3}$	$1.000 < RRF \leq 10.000$
SIL 4	$10^{-5} \leq PFD < 10^{-4}$	$10.000 < RRF \leq 100.000$

Sumber: ISA TR 84.00.02-2002.

3.2.5 Pengolahan data *Fuzzy LOPA*

Pengolahan data FLOPA dimulai dari identifikasi skenario insiden yang ditunjukkan oleh sepasang kejadian: *Initiating Event* (IE) dan *Consequence* hal ini dapat diperoleh dengan aplikasi dari *Process Hazard Analysis* (PHA), terutama HAZOP. Model menerapkan tiga sub sistem utama: *Frequency Fuzzy Logic System*, FLS (F), yang menghitung frekuensi *fuzzy* sebuah skenario kejadian dan *Severity Fuzzy Logic System*, FLS (S), untuk memperkirakan tingkat keparahan konsekuensi skenario kejadian. Kedua sistem tersebut memberikan masukan untuk sub sistem ketiga yaitu *Risk Fuzzy Logic System*, FLS (R), yang menghasilkan *fuzzy risk matriks*. Sebagai hasil penggunaan aritmatika fuzzy dan penalaran *fuzzy*, *risk index* dapat diperoleh.



Gambar 3. 3 Sistem Fuzzy FLOPA

Pada tahap ini data frekuensi dan severity yang telah didapatkan dari LOPA dijadikan sebagai input ke dalam sistem fuzzy. Dimana terdapat 5 kategori dari frekuensi yaitu Unlikely, Very-Low, Low, Medium, dan High. Dan juga terdapat 5 kategori dari *severity* yaitu Neglible, Low, Moderate, High, dan Catastrophic. *Fuzzy set* tersebut dibangun menggunakan rule base seperti tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Rule base FLOPA

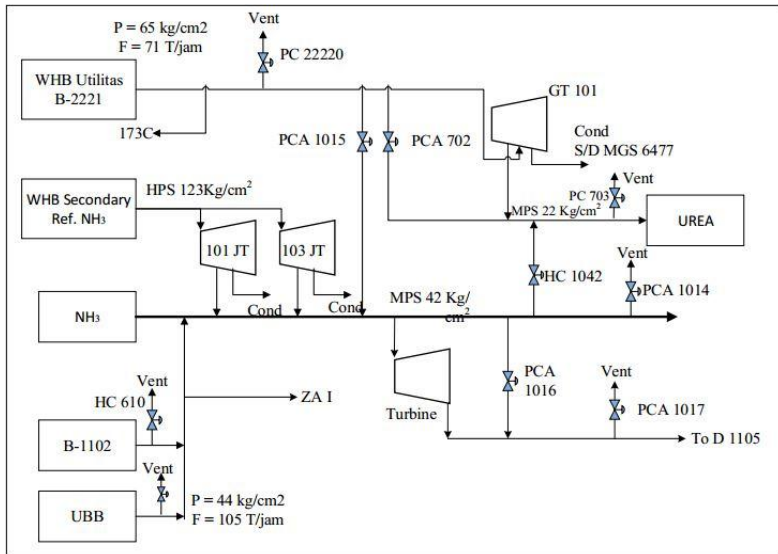
Frekuensi	Severity				
	Neglible	Low	Moderate	High	Catastrophic
Unlikely	Low	Low	Low	Low	Medium
Very-Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium
Low	Low	Medium	Medium	Medium	High
Medium	Low	Medium	Medium	High	High
High	Medium	Medium	High	High	High

Output dari sistem *fuzzy* yang telah dibangun adalah berupa *risk matrix* yang kemudian didefuzzifikasikan, lalu didapatkan nilai *risk index*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Unit Utilitas



Gambar 4. 1 Unit Utilitas

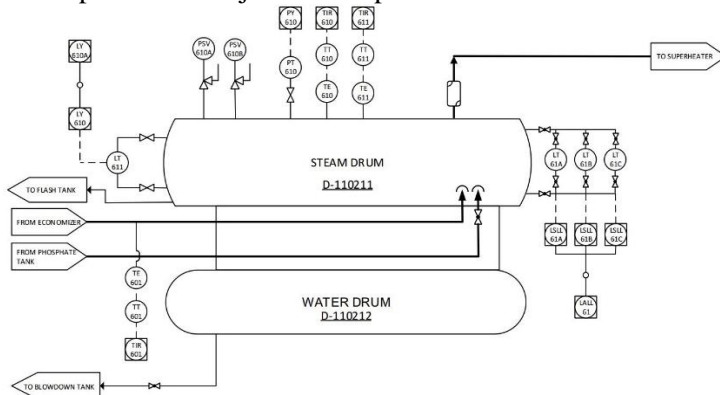
Pabrik amoniak PT. Petrokimia Gresik, membutuhkan *steam* yang diperoleh dari unit utilitas. Pembangkitan *steam* yang digunakan pada pabrik amoniak ini disuplai dari *boiler* B1102 dengan bahan bakar gas alam dan WHB B-2221 dari gas buangan unit *gas turbin generator* (GTG). Seperti pabrik amoniak pada umumnya, panas yang dihasilkan unit *secondary reformer* dari pabrik amoniak ini digunakan sebagai pembangkit *steam*. *Steam* yang dibangkitkan ini adalah berjenis *high pressure* (HP *steam*) dengan tekanan 120 kg/cm². HP *steam* ini selanjutnya digunakan untuk turbin dan *medium pressure steam*.

4.2 Analisa Potensi Bahaya

Dalam melakukan evaluasi potensi bahaya, terlebih dahulu ditentukan titik studi (*node*) yaitu *steam drum* yang nantinya akan digunakan untuk menentukan *guideword*, *deviasi*, dan *likelihood*. Data yang dijadikan acuan pengolahan adalah data proses yang didapat dari *log sheet steam drum* selama 6 hari dari tanggal 14 sampai 19 pada bulan Oktober 2017 yang dapat dilihat pada lampiran.

4.2.1 Potensi Bahaya *Steam Drum*

Setelah melewati *economizer*, *feed water* yang sebagian telah berubah menjadi *steam* akan masuk kedalam *steam drum* untuk dipisahkan menjadi fase uap dan fase cair.

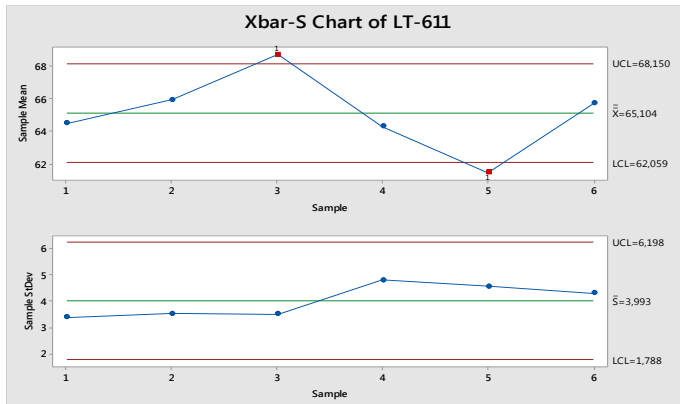


Gambar 4.2 Node Steam Drum

Terdapat 5 komponen instrumentasi utama dalam *steam drum* yaitu *level transmitter* (LT-611), *pressure transmitter* (PT-610), *temperature transmitter* (TT-601), *temperature transmitter* (TT-610), dan *temperature transmitter* (TT-611).

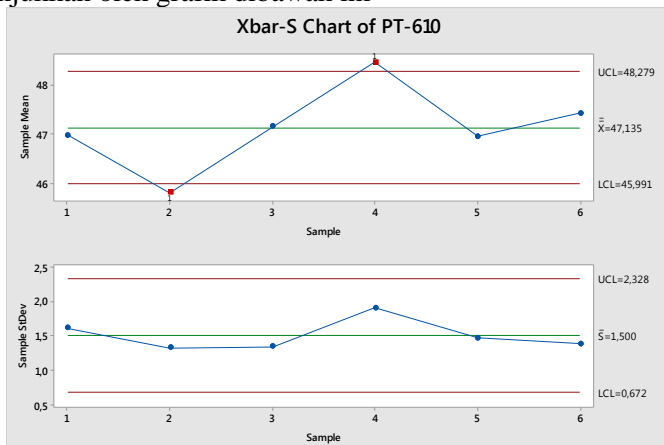
- Guide Word dan Deviasi

Berdasarkan data proses dari tiap instrument pada node *steam drum* dapat diperoleh grafik penyimpangan pembacaan transmitter terhadap rata-rata operasi harian. Berikut adalah grafik Xbar-S Chart untuk LT-611



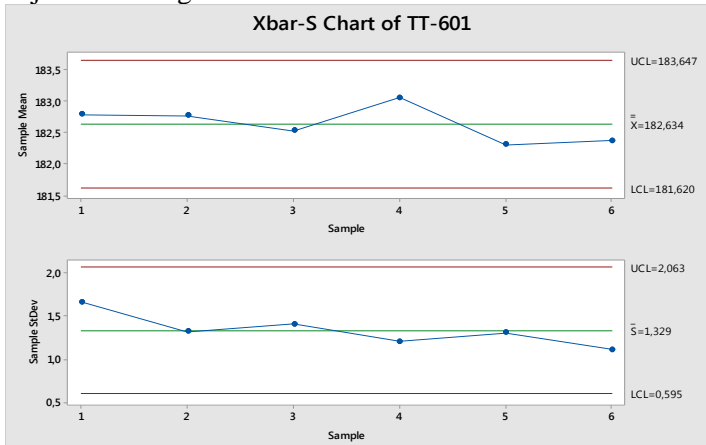
Gambar 4. 3 Grafik Xbar -S Chart LT-611

Dari grafik pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pembacaan *level transmitter* (LT-611) didominasi oleh pembacaan *out of control*. Sehingga *guide word* yang digunakan adalah low dan high, dengan deviasi *low level* dan *high level*. Untuk menghindari terlalu rendah dan tingginya *level* pada *steam drum* agar tidak terjadi *overpressure* dan *low pressure*, maka *flow feedwater* yang masuk ke *steam drum* mengikuti tinggi atau rendahnya *level* pada *steam drum*. Kemudian pembacaan *transmitter* untuk PT-610 ditunjukkan oleh grafik dibawah ini



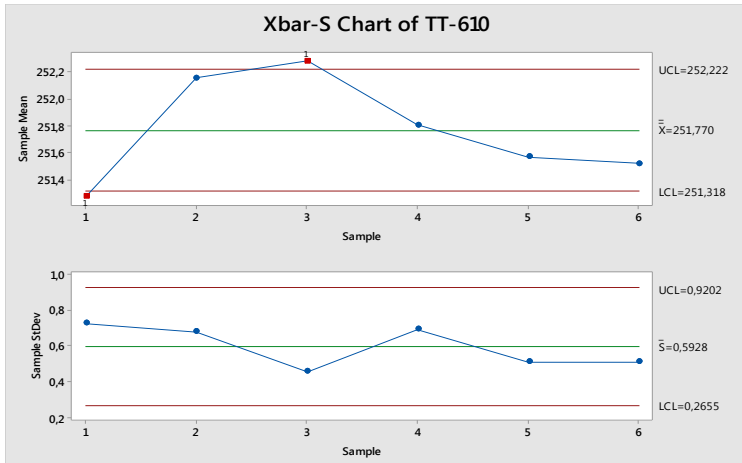
Gambar 4. 4 Grafik Xbar -S Chart PT-610

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pembacaan *pressure transmitter* (PT-610) didominasi oleh pembacaan *out of control*. Sehingga *guide word* yang digunakan adalah *low* dan *high*, dengan deviasi *low pressure* dan *high pressure*. Sedangkan pembacaan *transmitter* untuk TT-601 ditunjukkan oleh grafik dibawah ini



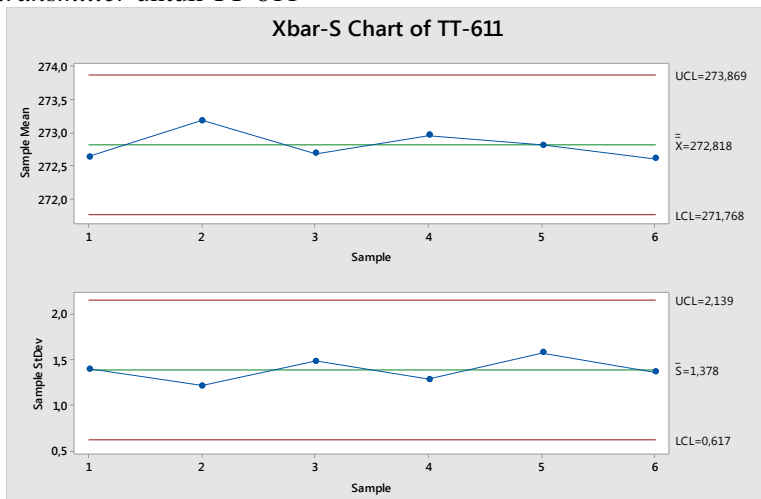
Gambar 4. 5 Grafik Xbar -S Chart TT-601

Pada komponen TT-601 tidak terdapat penyimpangan dari rata-rata pembacaan. Hal ini menunjukkan bahwa TT-601 tidak menimbulkan potensi bahaya, karena pembacaanya sesuai dengan kondisi proses yang terjadi. Sehingga *guide word* yang digunakan adalah *as well as* dan deviasi *as well as temperature*. Grafik selanjutnya menunjukkan pembacaan *transmitter* untuk TT-610



Gambar 4. 6 Grafik Xbar -S Chart TT-610

Dari hasil pembacaan pada komponen TT-610 terdapat penyimpangan yang lebih tinggi dari rata-rata pembacaan. Sehingga *guide word* yang digunakan adalah *high* dan deviasi *high temperature*. Grafik berikutnya menunjukkan pembacaan *transmitter* untuk TT-611



Gambar 4. 7 Grafik Xbar -S Chart TT-611

Dari grafik pembacaan pada komponen TT-611 tidak terdapat penyimpangan dari rata-rata pembacaan. Hal ini menunjukkan bahwa TT-611 tidak menimbulkan potensi bahaya, karena pembacaannya sesuai dengan kondisi proses yang terjadi. Sehingga *guide word* yang digunakan adalah *as well as* dan deviasi *as well as temperature*.

4.3 Analisis Resiko

Analisis resiko merupakan evaluasi terhadap peluang dampak hazard yang terjadi akibat penyimpangan dari kondisi operasi rata-rata. Analisa resiko ditinjau dari parameter *likelihood* (peluang) dan *consequences* (dampak), serta dinyatakan dalam *risk matrix*. Dalam tugas akhir ini menggunakan dua acuan untuk standar penentuan *consequences* yaitu berdasarkan berapa tingkatan *control limit* yang dicapai pada *control chart* standard deviasi dari setiap komponen instrument masing-masing *node* untuk selanjutnya dilihat pada tabel *consequences* berdasarkan standar AS/NZS 4360:2004. Selain itu juga menggunakan kriteria dampak yang telah dibuat dalam kriteria profil resiko oleh departemen produksi dan pemeliharaan I PT. Petrokimia Gresik. Penggunaan dua acuan tersebut juga berlaku untuk penentuan *likelihood*. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa penyesuaian terhadap kondisi proses yang terjadi di pabrik, salah satunya adalah *flow steam* yang dalam kondisi real lapangan mengikuti intensitas produksi pabrik. Ada 3 parameter yang dikendalikan dalam proses produksi yaitu *level*, *pressure*, dan *temperature*. Setelah dilakukan prosedur *Hazard and Operability Study* (HAZOPS) maka didapatkan analisis *cause and consequences* sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Analisis cause and consequences node steam drum

Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	C	L	R	RECOMMENDATIONS
LT-611	High	High Level	1. Overflow from boiler feed water pump 2. FV-60A and FV-60B fail to close	1. Boiler water carryover into the superheater or the turbine may cause damage 2. Minimized company profit due to corrupted production process 3. Overfill could damage the baffles rupture and leakage may occur	1. Level Indicator Controller (LIC-611A) 2. Level Indicator Controller (FIC-600) 3. Flow Valve (FV-60A) 4. Flow Valve (FV-60B)	2	3	6	1. Decreasing the BFP flow 2. Stop the pump manually 3. Preventive Maintenance of FV-60A & 60B, Calibrate FT-600 & LT-611 periodically 4. Level Alarm High High Installation
	Low	Low Level	1. Boiler feed water fail to pump 2. FV-60A and FV-60B fail to open	1. Low level will cause overheating at steam drum and may cause tube rupture and serious accidents 2. Explosion may occur	1. Pressure Safety Valve (PSV-610A) 2. Pressure Safety Valve (PSV-610B) 3. Level Alarm Low Low (LALL-61)	4	2	8	1. Increasing the BFP flow 2. Preventive Maintenance of BFP 3. Preventive Maintenance of FV-60A & 60B, Calibrate FT-600 & LT-611 periodically
Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	C	L	R	RECOMMENDATIONS
PT-610	High	High Pressure	1. If the inlet pressure of the feed water is more than 47 kg/cm ² 2. Boiler Feed pump failure	1. Over pressurisation of the boiler drum giving rise to breakage of baffles, and also the frequent occurrence of this will lead to safety valve spring damage.	1. Pressure Safety Valve (PSV-610A) 2. Pressure Safety Valve (PSV-610B) 3. Pressure Alarm High High (PAHH-61) 4. Pressure Indicator Alarm High (PIA-610)	4	2	8	1. Decreasing the BFP flow 2. Preventive Maintenance of BFP 3. Preventive Maintenance of PSV-610A & 610B, Calibrate PT-600 periodically
	Low	Low Pressure	1. If the inlet pressure of the feed water is less than 47 kg/cm ² 2. Boiler feed water fail to pump	1. Low generation 2. Loss of unit	1. Level Indicator Controller (LIC-611A) 2. Level Indicator Controller (FIC-600) 3. Flow Valve (FV-60A) 4. Flow Valve (FV-60B)	3	2	6	1. Increase the steam temperature to increase the pressure 2. Preventive Maintenance of FV-60A & 60B, Calibrate PT-611, PT periodically

Tabel 4. 2 Analisis cause and consequences node steam drum (lanjutan)

Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	C	L	R	RECOMMENDATIONS
TT-601	As well as	As well as temperature	No cause	No consequences	1. Pressure Safety Valve (PSV-610A) 2. Pressure Safety Valve (PSV-610B) 3. Flow Valve (FV-60A) 4. Flow Valve (FV-60B)	1	1	1	1. Preventive Maintenance of PSV-610A & 610B 2. Calibrate TT-601 periodically
Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	C	L	R	RECOMMENDATIONS
TT-610	High	High Temperature	1. Excess burning at a particular Load 2. If inlet temperature of the steam is more than 251 °C	1. Destroys the drum water wall tubes due to overheating of the tubes (downcomers and tube risers), and could lead to drum explosion.	1. Pressure Safety Valve (PSV-610A) 2. Pressure Safety Valve (PSV-610B) 3. Pressure Indicator Alarm High (PIA-610)	4	1	4	1. Increasing the BFP flow 2. Temperature Alarm High Installation 3. Preventive Maintenance of PSV-610A & 610B, Calibrate TT-610 periodically
Component	GW	DEVIATION	CAUSES	CONSEQUENCES	SAFEGUARDS	C	L	R	RECOMMENDATIONS
TT-611	As well as	As well as temperature	No cause	No consequences	1. Pressure Safety Valve (PSV-610A) 2. Pressure Safety Valve (PSV-610B) 3. Flow Valve (FV-60A) 4. Flow Valve (FV-60B)	1	1	1	1. Preventive Maintenance of PSV-610A & 610B 2. Calibrate TT-611 periodically

4.4 Analisis Risk Ranking dan Evaluasi HAZOPS

Dari hasil analisis HAZOPS yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa risiko yang dapat terjadi pada unit *steam drum* terbagi menjadi tiga kategori dengan persentase sebagai berikut :

- Low = 3 kejadian (43 %)
- Medium = 4 kejadian (57 %)
- High = 0 kejadian (0 %)

Untuk mengurangi resiko yang ada, maka *risk ranking* yang termasuk kategori Medium akan dianalisis kembali dengan metode LOPA.

4.5 Layer of Protection Analysis (LOPA)

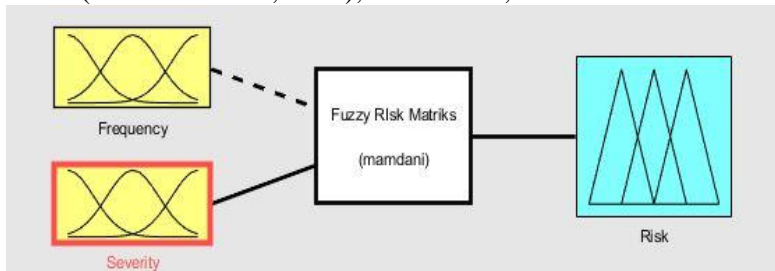
Layer of Protection Analysis (LOPA) adalah sebuah metode sistematis dan terorganisir untuk mengidentifikasi dan menganalisis skenario potensi kecelakaan utama yang terkait dengan pengolahan atau penanganan bahan kimia yang sangat berbahaya (CCPS, 2001). Dasar dari LOPA adalah sebuah *accident scenario* yang dipicu oleh berbagai sebab (disebut *Initiating Event* - IE) dan berakhir pada konsekuensi dengan tingkat keparahan – S (yang terburuk adalah korban jiwa). LOPA mengasumsikan bahwa skenario kecelakaan itu diwakili oleh sepasang kejadian : *cause* - *consequence* dan hal itu terjadi karena kegagalan lapisan proteksi independen yang membentuk sistem multilayer. Perhitungan Hasil frekuensi akibat konsekuensi skenario tertentu (F) adalah berdasarkan analisis *event tree* yang disajikan pada gambar 4.9 (CCPS, 2001). Sebagai hasil dari LOPA, indeks resiko berdasarkan kategori bahaya (A, TA, TNA, dan NA) ditentukan.

Tabel 4. 3 Hasil analisis LOPA

No.	Impact Event Description	Initiating Cause	ICL	Protection Layers *std1					IEL	TMEL	PFD	RRF	SIL
				GPD	BPCS	ALARM	AMD	AMR	ICL*PFD	*std2	TMEL/IEL	1/PFD	*std3
1	Low level will cause overheating at steam drum and may cause tube rupture and serious accidents	Less boiling water so that drum level is < 30%	0,612887	0,01	0,1	1	1	1	0,000612887	1,00E-05	0,016316	61,28867	SIL 1
2	Boiler water carryover into the superheater or the turbine may cause damage	More boiling water so that drum level is > 75%	0,612887	0,01	0,1	1	1	1	0,000612887	1,00E-05	0,016316	61,28867	SIL 1
3	Low generation	If pressure of boiling water in drum less than 47 Kg/cm ²	0,406181	0,01	0,1	1	1	1	0,000406181	1,00E-05	0,02462	40,61808	SIL 1
4	Over pressurisation of the boiler drum giving rise to breakage of baffles, and also the frequent occurrence of this will lead to safety valve spring damage	If pressure of boiling water in drum more than 47 Kg/cm ²	0,406181	0,01	0,1	0,1	0,01	1	4,06181E-07	1,00E-05	24,61958	0,040618	NR

4.6 Fuzzy Layer of Protection Analysis (LOPA)

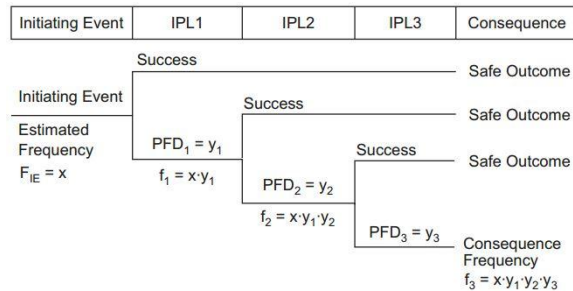
FLOPA dimulai dari identifikasi skenario insiden yang ditunjukkan oleh sepasang kejadian: *Initiating Event* (IE) dan *Consequence* hal ini dapat diperoleh dengan aplikasi dari *Process Hazard Analysis* (PHA), terutama HAZOP. Model menerapkan tiga sub sistem utama: *Frequency Fuzzy Logic System*, FLS (F), yang menghitung frekuensi fuzzy sebuah skenario kejadian dan *Severity Fuzzy Logic System*, FLS (S), untuk memperkirakan tingkat keparahan konsekuensi skenario kejadian. Kedua sistem tersebut memberikan masukan untuk sub sistem ketiga yaitu *Risk Fuzzy Logic System*, FLS (R), yang menghasilkan *fuzzy risk matriks*. Sebagai hasil penggunaan aritmatika fuzzy dan penalaran fuzzy, *risk index* dapat diperoleh, yang digunakan untuk pengambilan keputusan lebih lanjut dalam proses manajemen risiko (Dubois& Prade, 1980); Markowski, 2006.



Gambar 4. 8 Sistem Fuzzy FLOPA

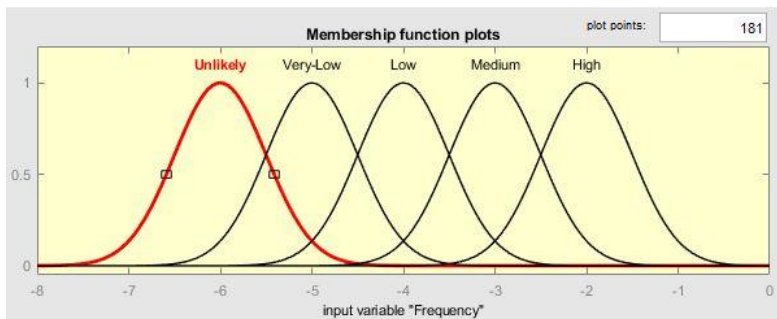
4.6.1 Fuzzy Logic untuk *frequency*, FLS (F)

Gambar 4.9 menunjukkan keseluruhan *event tree* yang digunakan untuk penilaian frekuensi. Seperti bisa dilihat, inputnya terbatas pada dasar yang paling representatif, komponen skenario termasuk: *Initiating Event* dan *Independent Protection Layer* (IPL).



Gambar 4. 9 Event Tree LOPA

Perkalian dari IE dan IPL menghasilkan nilai frekuensi yang akan digunakan sebagai set fuzzy dan dinyatakan dalam bentuk bilangan fuzzy. Fungsi keanggotaan yang digunakan dalam frekuensi LOPA memiliki range 0-1, hal ini mendefinisikan bahwa frekuensi kegagalan dalam 1 tahun dibagi dalam 5 kategori, yaitu Unlikely, Very-Low, Low, Medium, dan High. Model yang digunakan adalah gaussian merujuk pada referensi penelitian sebelumnya (Markowski & Mannan, 2009).

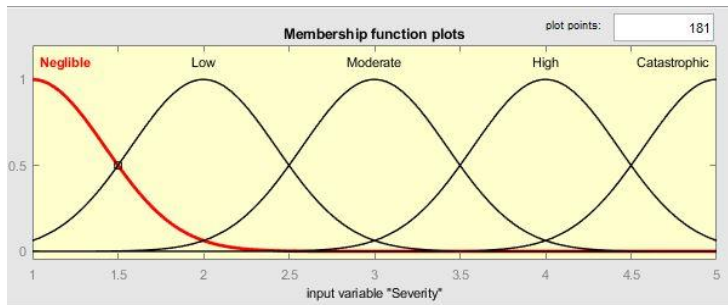


Gambar 4. 10 Fungsi Keanggotaan Frekuensi

4.6.2 Fuzzy Logic untuk *severity*, FLS (S)

Kategori *severity* diwakili oleh angka dari 1 sampai 5, di mana kategori 1 adalah untuk *Neglible* dan kategori 5 adalah untuk *Catastrophic*. Model yang digunakan adalah gaussian

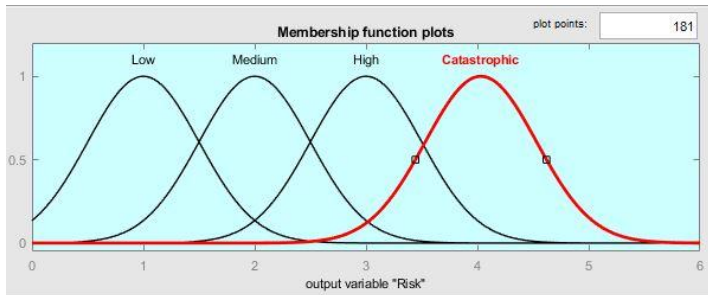
dengan 5 kategori berupa Neglible, Low, Moderate, High, dan Catastrophic



Gambar 4. 11 Fungsi Keanggotaan Severity

4.6.3 Fuzzy Logic untuk risk, FLS (R)

FLS (R) menggunakan *risk matriks* untuk menilai *risk index*. Seperti diketahui, *risk matriks* menyajikan hubungan antara tingkat frekuensi, tingkat *severity* dan *risk* untuk skenario kecelakaan tertentu dan dapat memberi peringkat pada *risk index* proses yang biasanya diidentifikasi melalui salah satu metode PHA. *Fuzzy risk matrix* memperhitungkan tiga FLS terpisah untuk setiap variabel (*frekuensi*, *severity* dan *risk index*) dan dalam proses fuzzifikasi variabel linguistik ini dipetakan kedalam fuzzy set. *Rule base* digunakan untuk menetapkan seperangkat peraturan untuk penilaian resiko dengan cara pengumpulan pernyataan IF-THEN. Kumpulan 25 aturan pengetahuan (misalnya, <IF Frequency is "LOW" dan Severity adalah "HIGH" MAKA Indeks Resiko adalah "HIGH">) diaplikasikan dengan menggunakan matriks resiko klasik yang terdiri dari 5 kategori frekuensi, 5 kategori *severity* dan 4 kategori resiko, yaitu Low, Medium, High, dan Catastrophic.



Gambar 4. 12 Fungsi Keanggotaan Risk

Sistem fuzzy dengan keluaran *risk* dibangun menggunakan rule base berdasarkan referensi dan data perusahaan yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

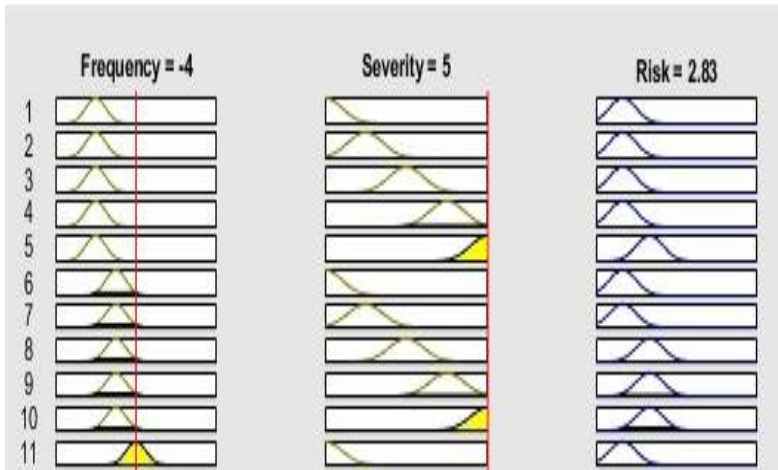
Tabel 4. 4 Rule base dari risk

Frekuensi	Severity				
	Negligible	Low	Moderate	High	Catastrophic
Unlikely	Low	Low	Low	Low	Medium
Very-Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium
Low	Low	Medium	Medium	Medium	High
Medium	Low	Medium	Medium	High	High
High	Medium	Medium	High	High	High

Output dari *fuzzy risk matrix* kemudian di defuzzifikasikan terhadap ke 4 *initiating event*, sehingga nilai *risk index* dapat diperoleh.

4.6.4 Defuzzifikasi untuk *Initiating Event* ke 1

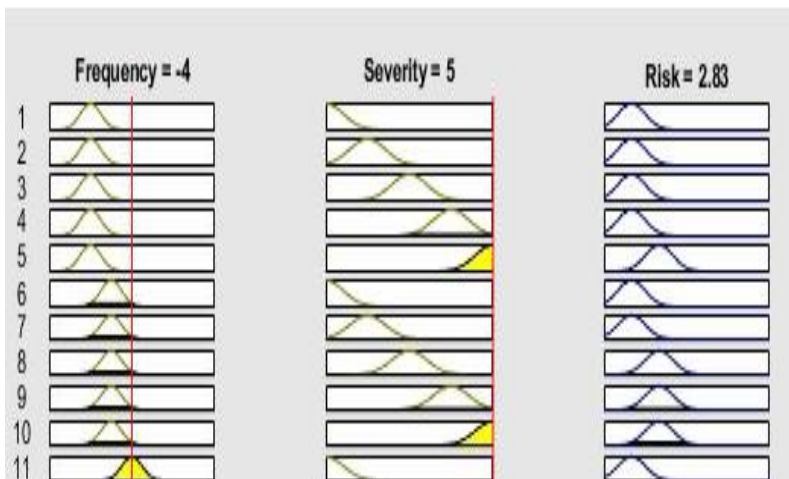
Dari hasil LOPA didapatkan nilai frekuensi untuk *initiating event* ke 1 yaitu sebesar 6.12×10^{-4} , dan nilai *severity* sebesar 5. Hasil dari defuzzifikasi untuk IE ke 1 ditampilkan pada gambar 4.14. Karna nilai frekuensi dan *severity* pada *initiating event* ke 2 bernilai sama, maka hasil defuzzyfikasinya bernilai sama dengan *initiating event* ke 1.



Gambar 4. 13 Defuzzifikasi IE ke 1 dan 2

4.6.5 Defuzzifikasi untuk *Initiating Event* ke 3

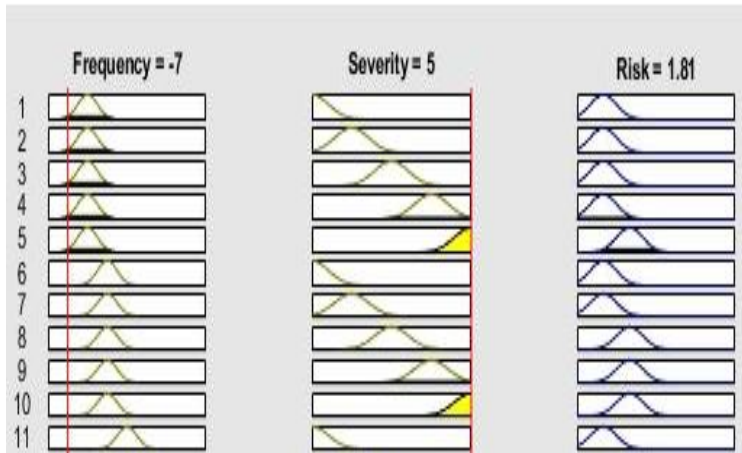
Dari hasil LOPA didapatkan nilai frekuensi untuk *initiating event* ke 3 yaitu sebesar 4.06×10^{-4} , dan nilai *severity* sebesar 5. Hasil dari defuzzifikasi untuk IE ke 3 ditampilkan pada gambar 4.15.



Gambar 4. 14 Defuzzifikasi IE ke 3

4.6.6 Defuzzifikasi untuk *Initiating Event* ke 4

Dari hasil LOPA didapatkan nilai frekuensi untuk *initiating event* ke 4 yaitu sebesar 0.004×10^{-4} , dan nilai *severity* sebesar 5. Hasil dari defuzzifikasi untuk IE ke 4 ditampilkan pada gambar 4.16



Gambar 4. 15 Defuzzifikasi IE ke 4

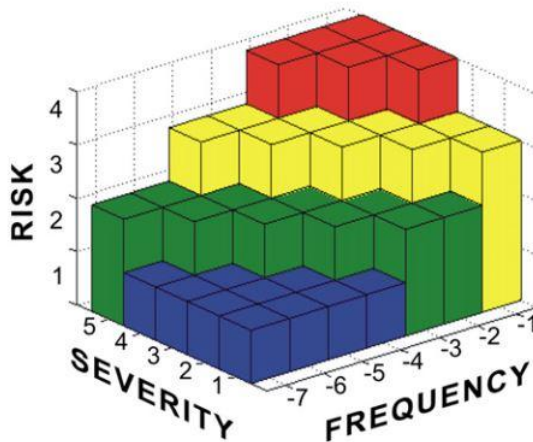
Nilai *risk index* dari hasil defuzzifikasi ditampilkan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Nilai Risk Index

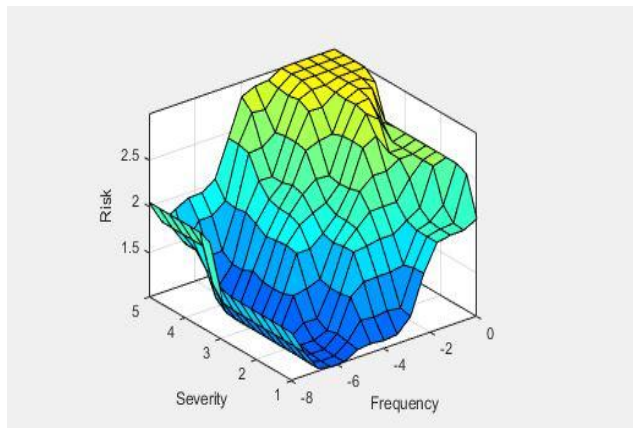
No	Type of Initiating Event	Frequency (10^{-4})	Severity	Risk Index, R		Fuzzy Risk Index
1	Less boiling water so that drum level is < 30%	6.12	5	3	High	2.83
2	More boiling water so that drum level is > 75%	6.12	5	3	High	2.83
3	If pressure of boiling water in drum less than 47 Kg/cm ²	4.06	5	3	High	2.83
4	If pressure of boiling water in drum more than 47 Kg/cm ²	0.004	5	2	Medium	1.81

Tabel 4.5 menyajikan empat hasil berdasarkan penerapan sistem logika fuzzy untuk setiap variabel - FLS (F), FLS (S) dan

FLS (R). Apabila dibandingkan dengan risk matriks yang dibuat berdasarkan kriteria resiko milik PT. Petrokimia Gresik yang ditampilkan pada gambar 4.16 dengan gambar 4.17 yaitu risk matriks yang dibuat berdasarkan logika fuzzy dapat dilihat perbedaan antara penggunaan fuzzy logic dengan risk matriks klasik.



Gambar 4. 16 Risk Matriks Klasik



Gambar 4. 17 Fuzzy Risk Matriks

Dari gambar 4.16 yaitu risk matriks klasik didapatkan nilai risk index dari initiating event ke 1, 2, dan 3 berturut-turut yaitu sebesar 3, dan untuk initiating event ke 4 sebesar 2. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan nilai severity dan frekuensi yang telah ditentukan oleh PT. Petrokimia Gresik. Sedangkan pada gambar 4.17 yaitu risk matriks menggunakan fuzzy logic, indeks resiko fuzzy untuk initiating event ke 1, 2, dan 3 berturut-turut yaitu sebesar 2.83, dan untuk initiating event ke 4 sebesar 1.81. Dari nilai ke 4 *initiating event* tersebut terdapat perbedaan berkisar antara 10% dari risk matriks klasik dengan fuzzy risk matriks, hal tersebut membuktikan bahwa penggunaan fuzzy logic dapat memberikan informasi yang lebih mendetail, dan memungkinkan pemilihan lapisan perlindungan yang lebih optimal dan dapat diandalkan. Tidak ada kemungkinan untuk mendapatkan kesimpulan seperti ini dari hasil perhitungan klasik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai indeks resiko menggunakan *fuzzy logic* memberikan nilai 2,83 untuk *initiating event* ke 1, 2, 3, dan 1,81 untuk *initiating event* ke 4.
- b. Dari nilai ke 4 *initiating event* tersebut terdapat perbedaan berkisar antara 10% dari risk matriks klasik dengan fuzzy risk matriks
- c. Penggunaan *fuzzy logic* memungkinkan penilaian yang lebih mendetail terhadap skenario kejadian dan memungkinkan pemilihan lapisan perlindungan yang lebih optimal.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah:

- a. Dilakukan *Preventive / Predictive Maintenance* secara rutin berkala guna memperkecil *failure rate* pada tiap *equipment*.
- b. Selalu sertakan strategi kontrol yang tepat untuk setiap instrumen di plant *steam drum*, untuk menerapkan solusi yang tepat saat terjadi *failure*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Center for Chemical Process Safety (CCPS). 2001. "Layer of Protection Analysis". America : A John Wiley & Sons, Inc
- [2] Lassen, Christopher A. 2008. "Layer of Protection Analysis (LOPA) for Determination of Safety Integrity Level (SIL)." Norwegian University of Science and Technology.
- [3] Markowski, Adam S.; M. Sam Mannan. 2009. "Fuzzy Logic for Piping Risk Assessment (pfLOPA)." Journal of Loss Prevention in the Process Industries.
- [4] Maiyana, Eka; Ya'umar. 2013. "Evaluasi *Safety Integrity Level* Pada Element – Element Sistem Pengendalian Level Ammonia Stripper Di pabrik I, PT. Petrokimia Gresik".
- [5] Nurrakhmad, Firman; Totok Ruki B, Ph.D. 2013. "Implementasi *Safety Instrumented System* (SIS) Dengan Metode *Layer Of Protection Analysis* (LOPA) Pada Unit Kolom Distilasi Pabrik Bio Ethanol PTPN X Mojokerto"
- [6] Pradana, Septian Hari; Ronny Dwi; Ali Musyafa'. 2014. "*Analisis Hazard and Operability (HAZOP) untuk Deteksi Bahaya dan Manajemen Risiko pada Unit Boiler (B-6203) di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik*" Jurnal Tugas Akhir Teknik Fisika ITS.
- [7] Hidayatullah, Nur Ulfa; Ali Musyafa'. 2015. "*Studi HAZOP Pada Sistem Distribusi BBM Berbasis Fuzzy Layer Of Protection Analysis di Instalasi Surabaya Group (ISG) PT. Pertamina Tanjung Perak.*"
- [8] Yinzi Hong; Hans J. Pasman; Sonny Sachdeva; Adam S. Markowski; M.Sam Mannan. 2016. "*A Fuzzy Logic and*

Probabilistic Hybrid Approach to Quantify the Uncertainty in Layer of Protection Analysis.” Journal of Loss Prevention in the Process Industries.

- [9] Pratyaksa, Agustinus P. 2017. “*Analisis Safety Integrity Level (SIL) Dengan Metode Layer of Protection Analysis (LOPA) Pada Unit Boiler (B-6203) Di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.*”
- [10] Rausand, M. (2004). HAZOP Hazard and Operability Study. In Wiley, *System Reliability Theory (2nd ed)* (pp. 1-44). Norwegian: Department of Production and Quality Engineering University of Science and Technology
- [11] Lassen, C. A. (2008). *Layer of protection analysis (LOPA) for determination of safety integrity level (SIL)*. Norwegian: The Norwegian University of Science and Technology.

LAMPIRAN A

SURAT KETERANGAN PENELITIAN TUGAS AKHIR



**PETROKIMIA
GRESIK**

Kepada : Yth. Kadep Fakultas Teknologi Industri – ITS Surabaya
: adhigwn@gmail.com
Dari : Manager Pengembangan SDM
PT. Petrokimia Gresik
Nomor : 263 /NK.02.02/03/MKP/2017
Perihal : **Konfirmasi Bimbingan Penelitian**
Tanggal : 03 Oktober 2017
Lampiran : 3 (tiga) Lembar

Menanggapi surat Saudara nomor : IT2.VI.2.3/PP.05.02/2017 tanggal 26 Juli 2017 perihal Permohonan Mahasiswa Bimbingan Penelitian / Tugas Akhir atas nama :

NO	NAMA	NIM	JURUSAN
1	Adhi Thya Gunawan	2413100015	Teknik Fisika

dengan ini disampaikan bahwa permohonan Saudara dapat kami terima mulai tanggal **01/10/2017 s.d. 31/10/2017** dan selama melaksanakan kegiatan di PT Petrokimia Gresik akan dibimbing oleh Sdr. Eka Budiyanto, Departemen Pemeliharaan I.

Demikian atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

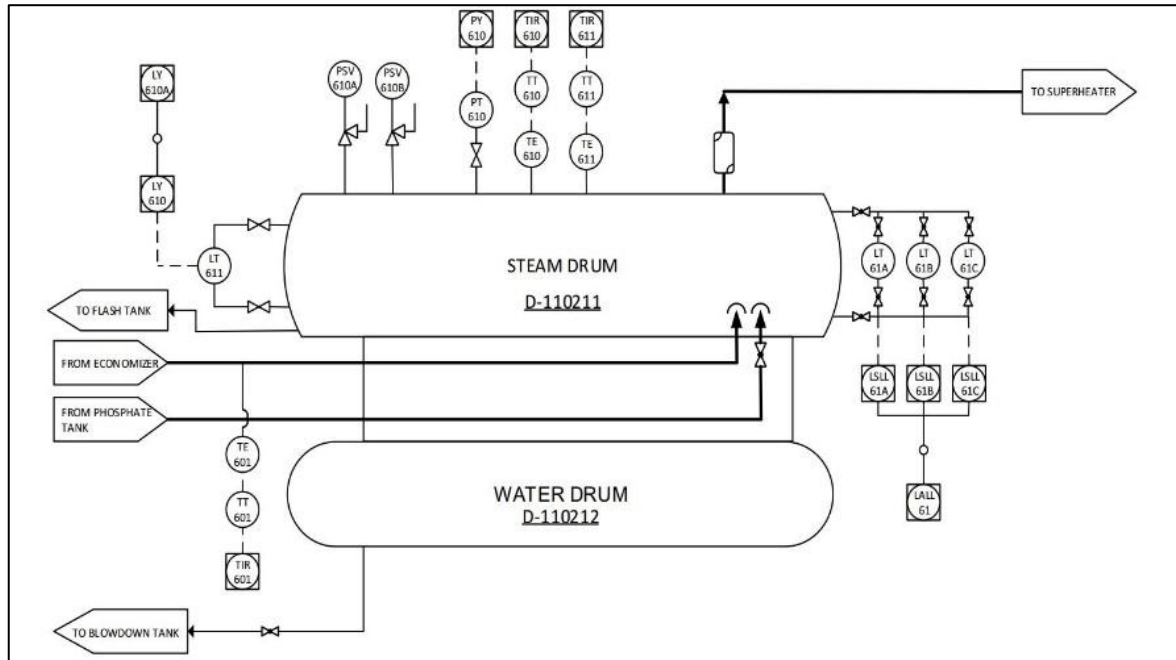
PT. Petrokimia Gresik



Waluyo Sirdjo
Pgs. Manager Pengembangan SDM
WS/Mr/Pt

LAMPIRAN B

P&ID Steam Drum



Perhitungan Nilai Reliability

Node :	SteamDrum
Equipment Tag No.	LT-611

Work Description	Date of Maintenance		TTF		MTTF		Failure Rate		Reliability	ICL
	Start	Complete	Days	Hours	Hours	Years	/Hour	/Year	/Year	
Periodic Repair	11/08/2010	11/08/2010								
Re-Setting	26/01/2012	26/01/2012	533	12792						
Spring Changing	21/11/2012	21/11/2012	300	7200						
Periodic Repair	26/11/2013	26/11/2013	370	8880	9230,4	1,053699	1,0834E-04	9,4904E-01	0,387113262	0,612887
Calibration - Resetting	11/07/2014	11/07/2014	227	5448						
Part Changing	16/11/2015	16/11/2015	493	11832						

Equipment Tag No. PT-610

Work Description	Date of Maintenance		TTF		MTTF		Failure Rate		Reliability	ICL
	Start	Complete	Days	Hours	Hours	Years	/Hour	/Year	/Year	
Periodic Repair	31/03/2010	31/03/2010			16808	1,918721	5,9495E-05	5,2118E-01	0,593819196	0,406181
Re-Setting	31/05/2011	31/05/2011	426	10224						
Calibration	28/02/2013	28/02/2013	639	15336						
Periodic Repair	31/12/2015	31/12/2015	1036	24864						

Perhitungan Nilai Reliability (lanjutan)

Equipment Tag No.

TT-601

Work Description	Date of Maintenance		TTF		MTTF		Failure Rate		Reliability	ICL
	Start	Complete	Days	Hours	Hours	Years	/Hour	/Year	/Year	
Periodic Repair	31/03/2010	31/03/2010			16808	1,918721	5,9495E-05	5,2118E-01	0,593819196	0,406181
Re-Setting	31/05/2011	31/05/2011	426	10224						
Positioner Setting	28/02/2013	28/02/2013	639	15336						
Periodic Repair	31/12/2015	31/12/2015	1036	24864						

Equipment Tag No.

TT-610

Work Description	Date of Maintenance		TTF		MTTF		Failure Rate		Reliability	ICL
	Start	Complete	Days	Hours	Hours	Years	/Hour	/Year	/Year	
Periodic Repair	22/04/2010	22/04/2010								
Re-Setting	07/03/2011	07/03/2011	319	7656						
Spring Changing	08/07/2013	08/07/2013	854	20496	12168	1,389041	8,2183E-05	7,1992E-01	0,48679066	0,513209
Periodic Repair	03/07/2014	03/07/2014	360	8640						
Calibration - Resetting	10/11/2015	10/11/2015	495	11880						

Equipment Tag No.

TT-611

Work Description	Date of Maintenance		TTF		MTTF		Failure Rate		Reliability	ICL
	Start	Complete	Days	Hours	Hours	Years	/Hour	/Year	/Year	
Periodic Repair	22/04/2010	22/04/2010								
Re-Setting	07/03/2011	07/03/2011	319	7656						
Spring Changing	08/07/2013	08/07/2013	854	20496	12168	1,389041	8,2183E-05	7,1992E-01	0,48679066	0,513209
Periodic Repair	29/06/2015	29/06/2015	721	17304						
Calibration - Resetting	10/11/2015	10/11/2015	134	3216						

LAMPIRAN D

Data Proses *steam drum* (14 – 19 Oktober 2017)

DATA PEMBACAAN (LT-611)																		
Tanggal	Waktu Pengambilan Data (Jam ke-)																	
	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata	Standar Deviasi
14/10/2017	68,68	66,95	63,55	59,66	61,04	61,21	67,94	70,23	62,83	58,95	61,88	63,89	65,87	65,93	66,4	67,02	64,50188	3,366256514
15/10/2017	66,49	63,89	66,37	68,07	65,76	66,01	74,42	66,9	65,86	69,95	68,71	64,37	64,49	60,31	59,86	63,49	65,93438	3,512721583
16/10/2017	62,8	68,09	72,21	73,92	69,22	71,36	72,7	68,57	72,37	64,59	68,26	72,71	64,43	66,61	65,91	65,88	68,72688	3,493557344
17/10/2017	67,26	61,73	71,56	69,19	63,71	62,86	69,52	59,79	60	62,71	65,25	65,59	65,97	51,4	65,9	66,2	64,29	4,76758779
18/10/2017	64,8	65,61	56,49	60,09	57,53	60,99	62,4	60,41	53,64	56	55,63	66,3	68,2	65,9	63,79	65,57	61,45938	4,5346701
19/10/2017	70,23	63,35	72,01	67,8	61,89	56,98	56,08	67,36	65,97	66,4	65,9	66,2	67,65	68,22	68,02	67,37	65,71438	4,284061887

Tanggal	DATA PEMBACAAN (PT-610)(Kg/cm ²)																	
	Waktu Pengambilan Data (Jam ke-)																	
	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata	Standar Deviasi
14/10/2017	47,9	48,2	44,35	47,21	46,78	49,18	47,5	44,7	48,7	45,36	48,8	46,29	49,27	45,33	46,31	45,87	46,98438	1,605656538
15/10/2017	46,35	43,81	45,92	47,44	46,13	45,93	45,72	44,19	45,32	44,23	46,89	46,57	43,31	47,65	47,21	46,39	45,81625	1,319640734
16/10/2017	45,91	45,63	49,24	48,63	48,73	48,01	46,27	46,53	48,19	47,48	47,09	46,62	45,51	48,35	44,64	47,63	47,15375	1,340054103
17/10/2017	46,57	46,58	48,78	50,88	49,51	51,33	46,87	45,21	48,37	48,24	50,97	48,77	46,11	50,8	48,93	47,54	48,46625	1,897591017
18/10/2017	47,06	47,21	45,38	46,73	44,57	48,75	46,52	44,23	48,96	49,3	47,26	46,75	48,61	46,92	46,83	46,27	46,95938	1,460851207
19/10/2017	47,68	49,63	45,6	44,75	48,63	48,21	45,32	46,75	46,36	48,52	48,95	47,21	47,52	47,63	48,55	47,56	47,42938	1,376175709

Tanggal		DATA PEMBACAAN (TT-601)(°C)																
		Waktu Pengambilan Data (Jam ke-)																
		08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata
14/10/2017	181,5	180,23	184,52	182,65	181,52	184,35	180,22	185,34	181,29	181,35	184,67	182,52	182,74	184,45	184,2	182,96	182,7819	1,655073891
15/10/2017	182,63	184,67	182,52	182,74	183,75	180,75	180,27	184,25	184,27	183,82	183,84	183,24	181,32	182,06	181,63	182,49	182,7656	1,313438077
16/10/2017	182,24	181,32	182,06	181,63	180,96	182,63	184,52	184,78	181,52	182,63	181,31	184,55	184,72	183,21	181,29	181,07	182,5275	1,404827392
17/10/2017	184,25	184,27	183,82	183,84	181,64	182,23	182,24	184,33	183,27	181,27	181,44	182,75	184,33	181,54	182,99	184,69	183,0563	1,20028816
18/10/2017	183,84	183,24	181,32	182,06	181,68	182,59	181,56	184,59	181,53	183,75	180,75	180,27	184,25	181,52	182,63	181,31	182,3056	1,297474309
19/10/2017	182,52	182,74	183,75	180,75	181,32	182,06	181,63	182,06	181,63	180,96	182,63	182,75	184,33	181,54	182,74	184,45	182,3663	1,103683983

Data Proses (lanjutan)

DATA PEMBACAAN (TT-610)(°C)																		
Tanggal	Waktu Pengambilan Data (Jam ke-)																	
	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata	Standar Deviasi
14/10/2017	252,19	252,04	252,03	252,07	251,79	251,2	250,97	250,62	250,3	250,38	250,6	250,09	250,87	251,58	251,87	251,75	251,2719	0,724129075
15/10/2017	250,87	251,58	251,87	251,75	252,04	252,07	252	252,23	252,28	252,21	252,96	253,05	253,37	253,13	251,73	251,43	252,1606	0,677125973
16/10/2017	251,58	252,67	252,86	252,41	252,39	252,35	252,12	251,47	251,93	251,5	252,63	252,67	252,86	252,41	252,39	252,35	252,2869	0,452337908
17/10/2017	250,22	250,58	251,1	251,7	252,14	252,27	252,16	252,04	252,13	251,24	251,81	252,33	252,44	252,62	252,38	251,8	251,81	0,6893862
18/10/2017	251,14	251,59	251,37	251,04	251,67	252,27	252,41	252,17	252,11	251,55	251,69	251,84	251,55	250,69	250,98	251,04	251,5694	0,506944688
19/10/2017	250,7	251,37	251,8	251,7	251,83	251,92	252,39	252,14	251,55	251,84	250,69	250,98	251,04	251,12	251,35	251,91	251,5206	0,5071682

DATA PEMBACAAN (TT-611)(°C)																		
Tanggal	Waktu Pengambilan Data (Jam ke-)																	
	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Rata-rata	Standar Deviasi
14/10/2017	270,2	272,63	274,63	271,03	273,23	271,45	271,65	272,84	270,63	274,96	274,12	273,45	273,65	273,04	272,41	272,3	272,6388	1,388230889
15/10/2017	272,37	274,51	274,74	270,82	272,11	272,34	274,56	273,79	274,56	272,14	271,68	273,69	274,12	273,54	272,46	273,59	273,1888	1,204153229
16/10/2017	273,54	273,96	270,3	270,64	274,63	274,12	272,54	272,84	273,58	274,66	271,78	271,54	272,24	271,05	274,33	271,24	272,6869	1,474474907
17/10/2017	271,08	271,54	272,64	273,85	273,54	274,75	270,63	273,23	273,15	272,31	271,67	272,43	273,88	274,15	274,93	273,65	272,9644	1,278290362
18/10/2017	270,12	274,42	274,12	271,65	271,54	273,52	274,54	274,22	271,34	273,61	271,2	271,63	272,54	274,63	274,85	271,22	272,8219	1,567291586
19/10/2017	271,53	271,54	271,63	274,77	274,21	271,96	271,91	273,63	270,55	274,36	271,44	272,45	274,58	273,42	271,24	272,54	272,61	1,355718752

BIODATA PENULIS



Adhi Thya Gunawan merupakan nama lengkap penulis dengan nama panggilannya, Adit. Penulis dilahirkan di Serang pada tanggal 4 Juni 1995 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari ayahanda Harwansi dan ibunda Neliyana. Riwayat pendidikan penulis adalah SDN Wanasari 14, Cibitung tahun (2001–2007), SMP Jaya Suti Abadi, Bekasi tahun (2007–2010), SMAN 1 Tambun Selatan, Bekasi tahun (2010–2013). Penulis diterima sebagai mahasiswa S1

Teknik Fisika ITS pada tahun 2013. Semasa perkuliahan, Penulis aktif organisasi kemahasiswaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF) dan beberapa kepanitaan pada acara kampus. Beberapa pelatihan seperti HAZOPS Training, dan ISO Training juga telah diikuti oleh penulis. Penulis fokus pada bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol khususnya topik *safety and reliability untuk* menyelesaikan tugas akhirnya. Penulis dapat dihubungi melalui email: adhigwn@gmail.com.